
SONAC
Jornadas de Ingeniería de Sonido y Acústica, Mayo 2011. ISSN: 1390-6348
2
PUBLICACIÓN
Una iniciativa de la Carrera de
Ingeniería en Sonido y Acústica
udla
UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
Laureate International Universities



COMITÉ ORGANIZADOR
Tomás Villón
Luis Bravo
Christiam Garzón
Hugo Jácome
Camila Pulido
Renato Zamora

DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO
Mantis Comunicación Persuasiva
3360943 / 3360916

Bienvenida

La Facultad de Ingeniería y su carrera de Ingeniería de Sonido y Acústica hace presencia una vez más en el campo de los aportes a la comunidad.

Año a año estamos compilando los mejores trabajos de estudios de nuestros egresados para dar a conocer las aplicaciones y alcances de los conocimientos adquiridos en nuestra carrera.

También hemos organizado los mejores temas de actualidad para que sean expuestos al público con expositores de prestigio en investigación e implementación de proyectos.

Nuestro objetivo en estas jornadas es llegar a todo el público relacionado con las ingenierías, dando a conocer y presentando nuestras capacidades e infraestructuras para el desarrollo de profesionales de la carrera de Ingeniería de Sonido y Acústica.

La demanda actual de profesionales en el medio de la producción musical y diseños acústicos es creciente e insatisfecha, por tal razón seguimos invirtiendo en laboratorios completamente equipados con tecnología de punta y contratación de profesores que tienen mucha experiencia y formación en los temas.

Como Decano de la Facultad de Ingeniería les doy la más cordial bienvenida, esperando que las expectativas de toda la comunidad involucrada en el área de sonido y acústica sean satisfechas con todo el esfuerzo y la inteligencia manifestada por nuestros organizadores y auspiciantes.

Me despido manifestando que estamos siempre listos con una buena predisposición y enfoque en nuestros estudiantes y futuros profesionales.

Atentamente

Tomas Villón
Decano
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias
Universidad de Las Américas

» Editorial

El reto de la Ingeniería Acústica en Ecuador es el de crear una consciencia social sobre los distintos potenciales y recovecos en los que se ciernen sus amplias aplicaciones. Un factor importante es la formación profesional, que debe orientarse a plantear un cambio social referente a la manera en que estamos acostumbrados a percibir los sonidos, que sin lugar a dudas puede ser continuamente mejorada; y en este aprendizaje la investigación fomenta cuestionamientos e interrogantes que permiten alcanzar esos objetivos de mejora.

Es así que la carrera de Ingeniería de Sonido y Acústica de la Universidad de Las Américas ha venido creando espacios que permitan a la comunidad avanzar para lograr nuevos esquemas sociales relacionados con el audio, las comunicaciones, la construcción, el diagnóstico y reducción del ruido, entre otros.

Uno de esos espacios son las Jornadas de Sonido y Acústica SONAC, que en esta ocasión contarán con la presencia de destacados investigadores extranjeros que compartirán sus experiencias y avances de esta área del saber; y quienes, estoy seguro, se llevarán una excelente impresión de los diversos trabajos que se llevan a cabo en nuestro país, entre los que se destacan los desarrollos de herramientas computacionales para optimizar procesos tales como el reconocimiento de voces, la utilización del sonido como bioindicador, la utilización de nuevas técnicas de simulación acústica de recintos; la construcción de dispositivos para el análisis de las características acústicas de materiales, y ejemplos de criterios aplicados a la acústica arquitectónica.

El compromiso del sector comercial, es el punto de partida para vincular el resultado concreto de las investigaciones con la sociedad; y su interacción crea sinergias que benefician a todos quienes hacemos acústica, y nos recuerda que *"el mundo necesita gente que ame lo que hace"*.

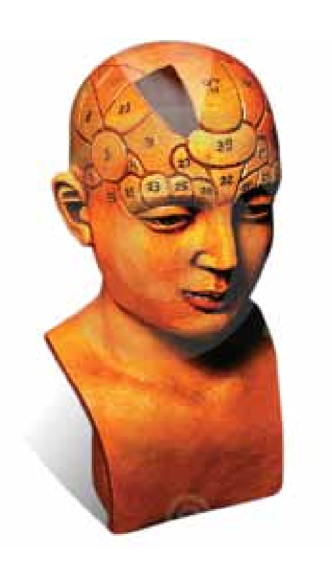
Un profundo agradecimiento al equipo de organización y a todas las empresas que en esta ocasión nos acompañan.

Luis Bravo M.
Coordinador Académico
Ingeniería de Sonido y Acústica

EVALUACIÓN TEÓRICO-PRÁCTICA

DE LA PERCEPCIÓN PSICOACÚSTICA DE NIVELES DE SONORIDAD Y DE LA ESTRUCTURA MELÓDICA EN PRODUCCIONES DE DISTINTOS GÉNEROS MUSICALES.

Daniel Augusto Bedoya Ramos
danielbedoyar@hotmail.com
Fernando Roberto Quintana Lasso
qferchoec@yahoo.com
Universidad de las Américas
2011
Quito - Ecuador



Recepción, aceptación y versión final:
Abril / 2011
SONAC, pp. 5-10

Resumen

El trabajo expone una investigación, dedicada específicamente a la rama de la psicoacústica, acerca de la preferencia a la cantidad de nivel sonoro y la combinación de elementos musicales tales como la melodía y el ritmo. Ambos aspectos relacionados con los estilos musicales más difundidos y tradicionales del entorno socio-cultural del país. Los resultados obtenidos indican que de acuerdo a los géneros musicales, las condiciones en las cuales las personas se disponen respecto a esta actividad y la influencia del entorno específico en el que se han desenvuelto durante el transcurso de su vida, afectan drásticamente a su apreciación de los parámetros evaluados. Si bien en el ámbito del sonido profesional no existen teorías específicas que indiquen un mismo procedimiento a seguir para obtener una obra con cualidades determinadas, el documento expresa las tendencias que pueden ser consideradas tanto para compositores, técnicos, productores musicales y aficionados.

Palabras Clave: Psicoacústica, nivel sonoro, melodía, ritmo.

Abstract

The current work exposes an investigation, dedicated specifically to the psychoacoustics branch, about the preference towards the quantity of sound level and the combination of musical elements such as melody and rhythm. Both of these aspects related to the most widely spread and traditional of the socio-cultural environment of the country. The acquired results indicate that depending of musical genre, conditions where people and musical activities are jointed, and the influence of a specific environment in which people grow, drastically affect their appreciation of the evaluated parameters. Even if in the field of professional sound there aren't specific theories that designate a unique procedure to follow in order to obtain a work with determined features, the tendencies that can be considered by composers, technicians, musical producers and aficionados are expressed in this document.

Keywords: psychoacoustics, sound level, melody, rhythm.

Antecedentes

Una de las principales características del ser humano es su musicalidad (conjunto de características rítmicas y sonoras propias de la música y gratas al oído) y el apego que tiene con respecto a los sonidos que lo rodean. Los efectos y reacciones que la música y el sonido producen en el hombre, son cuantificables al estudiarlos, incluso psicológicamente, como se lo ha ido haciendo en el transcurso del tiempo. Cada cultura posee rasgos distintivos únicos, lo que implica una gran diversidad de manifestaciones musicales. Sin embargo, existen similitudes entre ellas que hacen posible comparar y estudiar las raíces de la musicalidad humana.

Al ser la melodía el elemento esencial que proporciona un mayor impacto a un tema musical, su análisis puede arrojar conclusiones que determinen las preferencias de un oyente…

Se inicia asumiendo que, en general, al ser humano le agrada que exista una mayor sencillez en la composición de una melodía, haciendo interesante la realización del estudio psicológico en un selecto grupo de personas que proporcione resultados sobre la preferencia que éstas tienen mayoritariamente por una u otra secuencia melódica determinada. Al ser la melodía el elemento esencial que proporciona un mayor impacto a un tema musical, su análisis puede arrojar conclusiones que determinen las preferencias de un oyente en cuanto al orden y el arreglo secuencial de notas. Además, en el transcurso de los últimos sesenta años y el desarrollo tecnológico aplicado a las diferentes etapas que componen una producción musical, el individuo promedio ha ido adoptando una tendencia a escuchar música a niveles de reproducción altos. Para corroborar dichas hipótesis, se utiliza una metodología de experimentación realizando análisis teóricos y una encuesta a grupos homogéneos de personas categorizadas de acuerdo a su relación con actividades musicales.

Desarrollo

El inicio de este proceso se da mediante el establecimiento de todos los parámetros y variables que intervienen en el plan de investigación, así como también de las características espaciales del recinto y de los requerimientos en los dispositivos electroacústicos que se utilizan.

Para simplificar la comprensión de la etapa experimental, se divide al trabajo en dos enfoques, uno dedicado a la evaluación de la percepción de sonoridad y otro a la percepción melódica. Se asume que la respuesta auditiva de los encuestados es similar y sin pérdidas importantes. Dentro del tema de sonoridad, se encuentran evaluaciones relacionadas al cambio en el timbre provocado por el uso de herramientas de procesamiento dinámico como el ecualizador y el compresor, comprendiendo aquí al análisis del *loudness war*[1], y otra referente a la calidad auditiva individual al realizar ligeras variaciones de nivel durante la reproducción de las muestras de audio. Dentro del aspecto de melodía, la investigación se centra en cuatro pilares: la capacidad de identificación frecuencial mediante la implementación de desafinaciones; la predictibilidad de cadencias y progresiones en estructuras melódicas; la complejidad de una serie tonal y la habilidad de retener mentalmente la misma; y la relación que se genera en el cerebro (de forma consciente o no) al asociar propiedades similares entre distintas melodías.

Las muestras de audio que se escogen para la evaluación de sonoridad están clasificadas por géneros musicales: rock, pop, hip-hop/rap, jazz/blues, electrónica y pasillo del Ecuador. Posteriormente, se ha recopilado información sobre los artistas/compositores musicales más influyentes y representativos dedicados a dichos géneros en los últimos 60 años en base a fuentes bibliográficas como la revista "Rolling Stone"[2] y a opiniones de algunos expertos en el tema. De todos estos, se compilan las versiones originales de sus canciones que han tenido una trascendencia importante en el tiempo y que contienen un pequeño porcentaje de dificultad para ser relacionadas inmediatamente con su compositor original, pero que a la vez, no son los éxitos con los que sus autores llegaron a la fama mundial, con el objetivo de que la canción que se exponga a las personas no resulte del todo desconocida pero que tampoco altere los resultados de las encuestas debido a una probable sugestión o predisposición. Durante la evaluación de percepción melódica, las muestras escogidas pertenecen a los mismos géneros musicales selectos para cada sonoridad a excepción del hip-hop y electrónica. En esta etapa, es necesario construir las melodías por medio de un secuenciador

1. Guerra de sonoridad: Tendencia de la industria musical a grabar, producir y emitir música elevando progresivamente el volumen durante el transcurso de los años, como una forma de competencia.

2. http://www.rollingstone.com/music/lists/5702/31963

MIDI, utilizando en su reproducción un solo timbre y una sola línea melódica, desvinculando así, su nexo musical a la memoria auditiva de los encuestados.

Además se desarrolla una prueba piloto en donde se realiza el ensayo del diseño experimental inicial para evaluar su efectividad, tabular tiempos, designar responsabilidades y corregir errores encontrados. Existen preguntas en las cuales el encuestado debe completar información general necesaria para el estudio. En el desarrollo del experimento se completa información de acuerdo al criterio del encuestado y, por último, se presentan preguntas de opción múltiple. Cada pregunta del cuestionario posee su propio grupo de muestras de audio seleccionadas de acuerdo a sus propiedades. Todas las muestras han sido tomadas conforme a consideraciones específicas en la música, tales como la identificación de patrones musicales y matemáticos, la cantidad de intervalos melódicos encontrados, su rango dinámico, el espectro de frecuencias abarcado, entre otros. Antes de cada sesión evaluativa, se calibra el sistema de reproducción y monitoreo digitalmente para tener una referencia fija de los niveles emitidos.

El análisis teórico previo realizado con las muestras es solamente revelado a los encuestados en la proporción que sea necesaria para su completo entendimiento del proceso experimental…

Cabe destacar que todas las personas que participan en el estudio lo hacen de manera voluntaria luego de haber sido escogidas por los encuestadores. Estos participantes no han conocido el objetivo de la evaluación previamente para evitar que los datos se vean afectados por sugestión consciente o inconsciente de las respuestas correctas o incorrectas. El análisis teórico previo realizado con las muestras es solamente revelado a los encuestados en la proporción que sea necesaria para su completo entendimiento del proceso experimental, el cual es presentado de forma clara y concisa. Finalizada esta etapa, se procede a realizar el respectivo proceso de tabulación, validación, contrastación y análisis de resultados. La parte práctica culmina con la presentación de los mismos en un informe, que comprueban o rechazan la hipótesis inicial y generan conclusiones finales acerca de todo el procedimiento efectuado.

Resultados

En percepción de sonoridad: preferencia por niveles altos en géneros como el rock, el pop, la electrónica y el pasillo y por niveles más bajos en el jazz y el hip-hop. Preferencia por el preset de ecualización específico para el rock siendo esta curva una de las más comunes en ser utilizadas para el género. Preferencia por la curva de ecualización con deficiencias en hip-hop y por la curva óptima en el pasillo, ambas construidas por los autores de la investigación. Preferencia mayor de muestras a las cuales se les aplicó el diseño pre-elaborado de compresión descargado de Waves[3] a excepción del hip-hop y el pasillo.

3. http://waves.com/content.aspx?id=5242

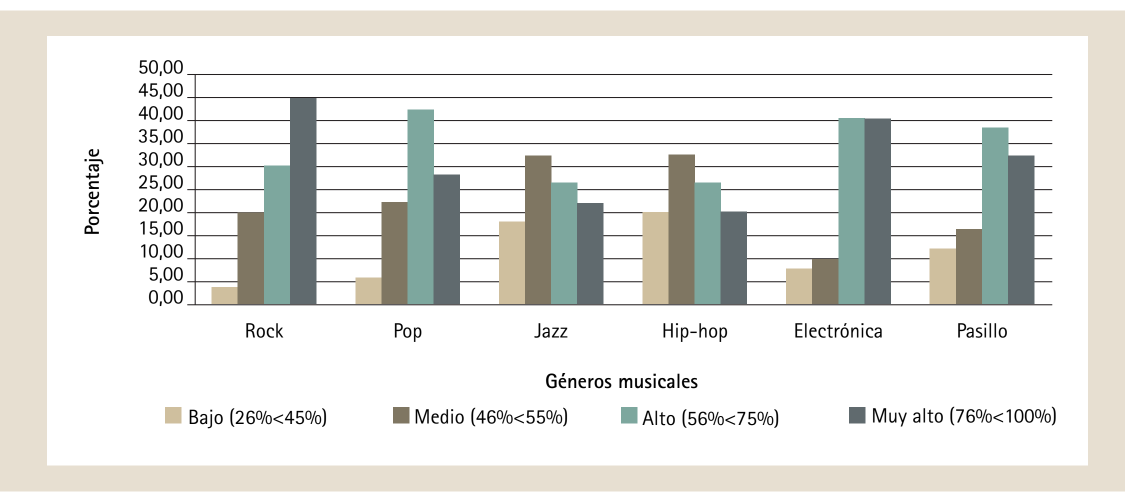


Figura 1. *Resultados de la evaluación de sonoridad. Relación entre géneros musicales y nivel preferido.*

En percepción de melodía: dentro del análisis de complejidad melódica, se comprueba la preferencia inclinada hacia secuencias fáciles y con patrones recurrentes. Dentro de la evaluación de retención melódica, se comprueba una gran capacidad para recordar la melodía original entre las tres alternativas expuestas, lo cual cumple con el objetivo de esta sección. Dentro del estudio de la capacidad para predecir una cadencia melódica se tiene que el jazz es el único género de los utilizados que resulta compleja la determinación certera de su final melódico, a diferencia del pasillo donde casi la totalidad de los evaluados reconoce la cadencia típica del estilo. Dentro del análisis de la asociación psicológica entre muestra y género, el total de los encuestados relacionan correctamente al pasillo y, en su mayoría, al pop, mientras que para el rock y el jazz resulta algo más compleja dicha relación.

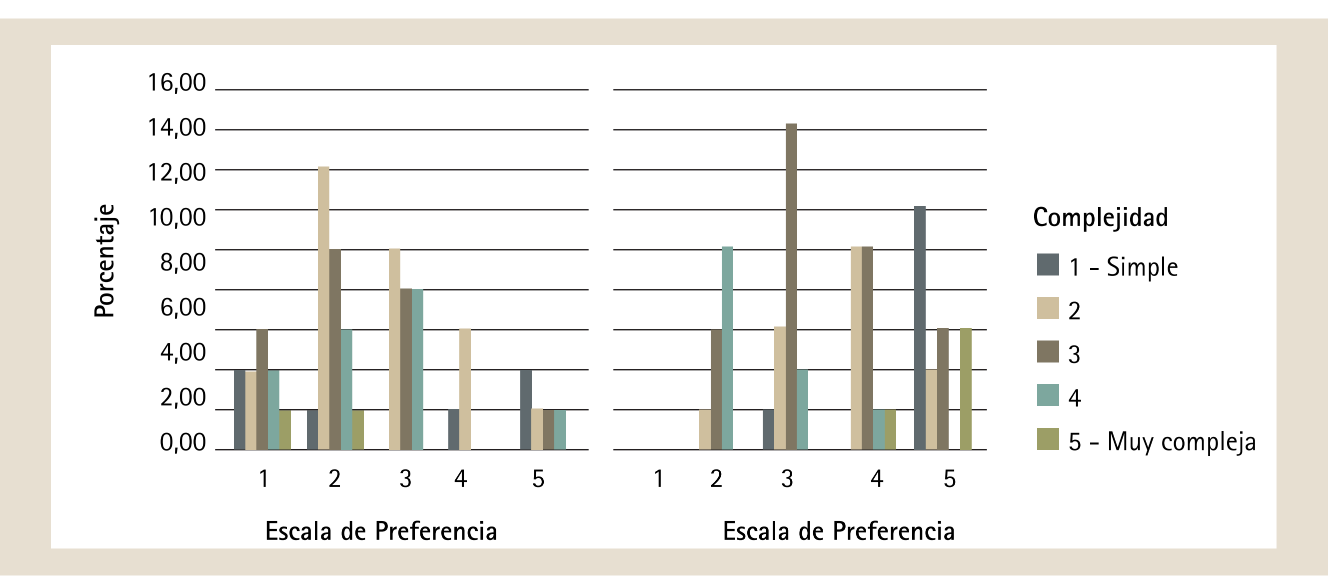


Figura 2. *Resultados de evaluación de melodía en rock (izquierda) y pop (derecha). Relación entre preferencia y complejidad*

Conclusiones

- Los encuestados muestran una tendencia a seleccionar los niveles más altos presentados para las muestras.
- La mayoría de personas tiende a aceptar y asimilar con mayor facilidad estructuras melódicas de composición sencilla.
- Las personas demuestran tener más facilidad para reconocer irregularidades tonales en géneros como el pasillo que en el pop.
- La melodía queda establecida no como un elemento individual sino más bien como una consecuencia del tiempo (ritmo).
- Géneros como el pop o el rock, sobretodo, demuestran una clara tendencia a ser escuchados con más nivel que géneros como el jazz o el pasillo.
- La diferencia entre géneros no solo se establece por su musicalidad sino también por la calidad del proceso de producción.
- La complejidad de una melodía no es un parámetro del todo objetivo y medible desde la perspectiva psicoacústica del humano. Sin embargo, la capacidad de una persona para reconocer, entonar, entender y recordar una melodía, sí resulta cuantificable.

Referencias

[1] BALLOU, Glen, Handbook For Sound Engineers, Howard W. Sams & Co, primera edición, tercera impresión, Estados Unidos, 1988.

[2] DAMASKE, Peter, Acoustics and Hearing, Springer Science & Business Media, LLC, Estados Unidos, 2008.

[3] DE LEEUW, Ton, Music of the Twentieth Century: Study of its Elements and Structure, tercera edición, Universidad de Amsterdam, Amsterdam, Holanda, 2005.

[4] EVEREST, Alton, The Master Handbook Of Acoustics, Editorial McGraw Hill, cuarta edición, Estados Unidos, 2001.

[5] HOWARD, David y ANGUS, Jamie, Acoustics and Psychoacoustics, Focal Press, primera edición, Estados Unidos, 2006.

[6] LEVITIN, Daniel, This Is Your Brain In Music, Penguin Group Ltd., Editorial Dutton, primera edición, Estados Unidos, Agosto, 2006.

[7] PRESSNITZER, Daniel y DE CHEVEIGNÉ Alain, Auditory Signal Processing: Physiology, Psychoacoustics and Models, Springer Editorial, primera edición, impreso en Estados Unidos, 2005.

[8] SCHOENBERG, Arnold, Funciones Estructurales de la Armonía, Idea Books S.A., primera edición, impreso en España, 1999.

[9] TEMPERLEY, David, Communicative Pressure and the Evolution of Musical Styles, Eastman School of Music, Music Perception, Spring 2004, 21, 3, Research Library p. 313. http://theory.esm.rochester.edu/temperley/papers/temperley-mp04.pdf

[10] JACKSON, William, Cross-Cultural Perception & Structure of Music, Marzo 21, 1998. http://cybermesa.com/~bjackson/Papers/Cross-Cultural%20Perception%20&% 20Structure%20of%20Music.pdf

[11] TAUBE, Gerardo, El timbre musical y su incidencia en la decodificación de secuencias melódicas. Una herramienta útil para el docente de música, Revista Iberoamericana de Educación (ISSN: 1681-5653). http://www.rieoei.org/deloslectores/1186Taube.pdf

[12] EEROLA, T., TOIVIAINEN, P., KRUMHANSL, C., Real-Time Prediction of Melodies: Continuous Predictability Judgments And Dynamic Models, ICMPC7, Sydney, Australia, Julio 2002. http://users.jyu.fi/~ptee/publications/2_2002.pdf

[13] The structural components of music perception. A functional anatomical study, Brain (1997), 120, 229–243. http://brain.oxfordjournals.org/content/120/2/229.full.pdf

DISEÑO ACÚSTICO

EN PROYECTO DE REHABILITACIÓN DEL TEATRO CARLOS CUEVA TAMARIZ DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE CUENCA

Guillermo Bolaños
guilermo_acustic@mail.com
Ingeniero de Sonido y Acústica
2011
Quito - Ecuador

Recepción, aceptación y versión final:
Abril / 2011
SONAC, pp. 11-17



Resumen

El Teatro Carlos Cueva Tamariz ubicado en la ciudad de Cuenca, Ecuador, construido alrededor de los años 60`s en las instalaciones de la Universidad Estatal de Cuenca entró en un proceso de rehabilitación en el año 2009, donde se planteó un diseño acústico enfocado principalmente a actividades relacionadas con la voz humana y música amplificada (rock y pop), es una sala tipo abanico con un aforo de 817 personas distribuidas en un solo nivel de audiencia, 4500 m^3 de volumen interno y 5,5 m^3/asiento, escenario tipo proscenio con caja escénica, tiempo de reverberación proyectado de 0,9 segundos, cuenta con paneles reflectantes laterales para aumentar la eficiencia lateral (Lateral Energy Fraction LEF) de la sala los cuales fueron diseñados por la empresa alemana Müller-BBM y un cielo raso conformado por paneles unitarios suspendidos siguiendo los criterios expuestos en las publicaciones de Cox y D` Antonio.

Palabras Clave: teatro, diseño acústico, Cuenca.

Abstract

The Carlos Cueva Tamariz Theatre located in the city of Cuenca, Ecuador was built around the 60 `s on the premises of the University of Cuenca, in 2009 entered in a rehabilitation process, where the acoustic design its focused mainly on activities related to the human voice and amplified music (rock and pop), is a fan-like room with a capacity of 817 people distributed in a single level, 4500 m^3 of internal volume and

5.5 m^3/seat, proscenium type stage with flying tower, designed reverberation time of 0,9 seconds, with lateral reflective panels to increase the LF of the room which were designed by the German company Müller-BBM and a ceiling made up of unitary canopies following the criteria set out by Cox and D'Antonio on their publications.

Keywords: Theater, acoustic design, Cuenca.

Antecedentes

La Figura 1 muestra el interior del Teatro a finales del 2009, era una sala con un aforo de 800 personas, y un escenario de proscenio sin torre escénica.



Figura 1. *Fotografía panorámica interior del Teatro en Agosto 2009.*

Considerando que previo a su restauración el Teatro Carlos Cueva Tamariz era usado en actividades de distinta índole, como por ejemplo: conciertos de rock, presentaciones escolares, oratorios, concierto de música de cámara, entre otras; las instalaciones existentes presentaban serias limitaciones para que estos espectáculos pudieran ser ejecutados a plenitud, es por esta razón, que entre los nuevos trabajos planteados se encontraba la construcción de una torre escénica en el escenario para permitir la instalación de varas escénicas, iluminación y pantalla de cine, dando al espacio una mayor multifuncionalidad. Por otro lado, el tratamiento acústico debía estar enfocado a crear una sala que se adapte a estas necesidades de manera concreta, principalmente a aquellas enfocadas a la voz hablada y música amplificada, ambos escenarios requieren tiempos de reverberación bajos, sin embargo, la necesidad de incorporar en su funcionalidad música no amplificada requiere la implementación de un sistema de acústica variable, pero que por factores estructurales, económicos y funcionales no fue viable, por lo que se optó en diseñar una sala que se adapte de mejor manera a los parámetros requeridos para lograr la mejor inteligibilidad de la palabra posible y dotar de ciertos elementos que permitan la reproducción de música no amplificada de una manera aceptable.

...el tratamiento acústico debía estar enfocado a crear una sala que se adapte a estas necesidades de manera concreta, principalmente a aquellas enfocadas a la voz hablada y música amplificada...

Desarrollo

El diseño acústico del Teatro Tamariz fue realizado en una estrecha unión con los arquitectos proyectistas para satisfacer sus aspiraciones estéticas y funcionales, proyectando un tiempo de reverberación de 0,9 segundos determinado a partir de los criterios de dimensionado de Arau como también de los criterios de Bradley para salas enfocadas al mensaje hablado.

Uno de los requerimientos del cliente fue la propuesta de un cielo raso abierto con paneles de madera suspendidos bajo una capa de material absorbente de color negro, por lo que se recurrió a los criterios de diseño expuestos por Cox y D´Antonio en su libro "Acoustics Absorbers and Diffusers", donde por facilidad de construcción, instalación y funcionalidad se seleccionaron paneles convexos elaborados en triplex de 12 mm; para evitar problemas de interacción de fase por las reflexiones producidas en series periódicas de paneles convexos, se optó por crear dos paneles cada uno con diferente curvatura y de esta forma crear una secuencia aperiódica (A B A B A) que garantice una mejor cobertura de primeras reflexiones por parte del cielo raso, la superficie cubierta por los paneles suspendidos corresponde al 50%, y su planteamiento se muestra en la figura 2.

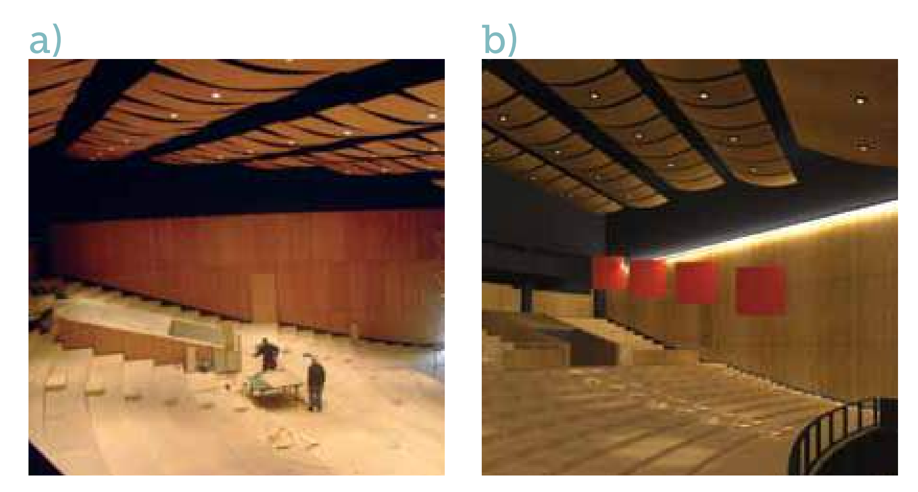


Figura 2. *Paneles reflectantes convexos suspendidos fabricados en triplex de 12 mm, a) fotografía tomada en obra, b) dibujo 3D previa su instalación.*

Los paneles fueron ubicados a una altura promedio de 12 m de la audiencia para generar primeras reflexiones dentro de los primeros 50 ms, dimensionados de 2,44 x 1,22 m para utilizar las planchas enteras de triplex sin tener desperdicios y por efectos de difracción/ distancia generar reflexiones útiles desde los 500 Hz, para que enfaticen el mensaje hablado, el espacio entre los paneles varía entre 15 a 30 cm para lograr diferentes comportamientos en baja frecuencia. En la boca del

escenario se planteó un gran reflector convexo de 14 m de largo y 5 m de ancho ubicado de forma que permita generar primeras reflexiones hacia la zona del orador permitiendo que éste pueda escucharse, así mismo a los músicos en la orquesta reciban reflexiones superiores para mejorar el ensamble y por último para cubrir toda la audiencia con primeras reflexiones. Conociendo que las butacas y audiencia son las superficies que mayor absorción acústica generan dentro de un recinto, y que el cielo planteado aumentaría los coeficientes de absorción de la sala, se evitó utilizar este tipo de material en el resto de superficies de la sala, es por esto que en la pared posterior, de forma cóncava, se planteó el uso de difusores QRD serie 7 de 700 Hz.

a)



b)

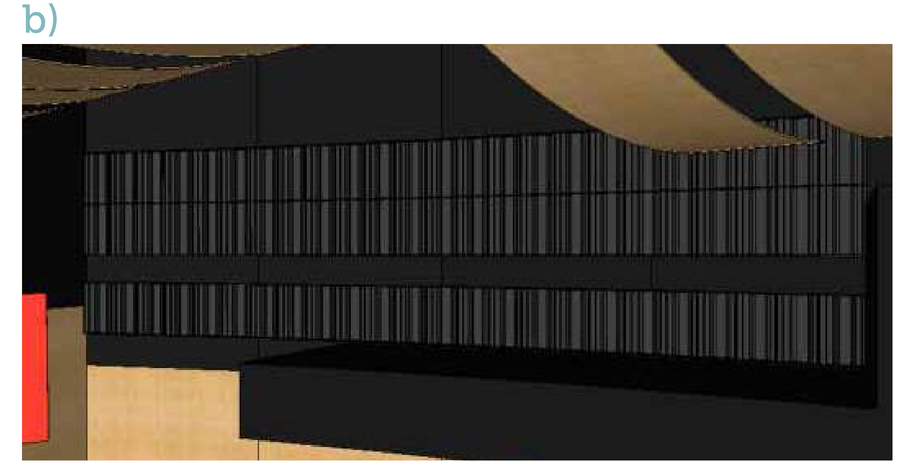


Figura 3. *Difusores serie 7 sin divisores a) fotografía de difusor en obra y b) perspectiva 3D de distribución planteada en pares posterior.*

Debido a la forma del teatro tipo abanico la inclinación de las paredes generaba que todas las reflexiones sean dirigidas a la parte posterior de la sala, en un estudio previo del espacio por parte de la empresa alemana Müller-BBM, se diseñó unos reflectores laterales para redirigir las reflexiones al centro de la sala, por lo que debido a su funcionalidad estos paneles fueron acoplados al diseño acústico actual, en la figura 2.b se los puede observar de color rojo.

El proyecto de rehabilitación también consideraba la incorporación de un foso de orquesta bajo el escenario, donde el tratamiento acústico planteado consta de paneles difusores QRD serie 7 de 700 Hz cubriendo toda la pared frontal para reducir el nivel de las reflexiones, evitar focalizaciones, mejorar el ensamble e intimidad de los músicos y absorber energía en baja frecuencia. La parte posterior del foso, bajo el escenario, cuenta con tratamiento absorbente para evitar que exista un exceso de energía reverberante y evitar problemas de filtro peine generados por reflexiones muy tempranas.

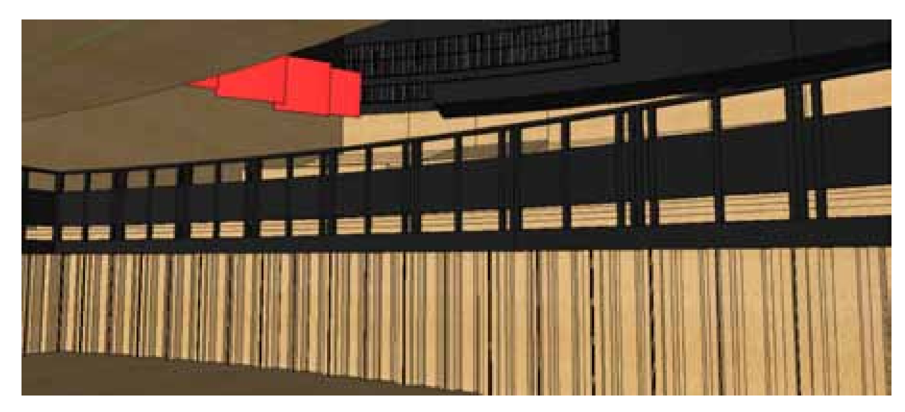
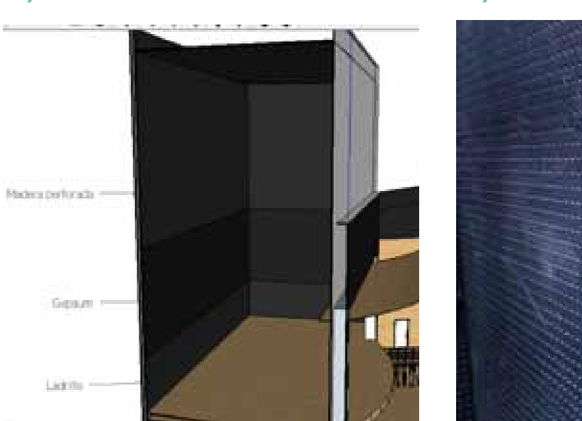


Figura 4. *Difusores QRD en pared frontal de foso de orquesta.*

Por último, en el escenario se planteó un triple sistema acústico distribuido a lo largo de la caja escénica, primero desde el nivel del piso hasta los 3 m de altura, las paredes son sólidas para preservar energía en baja frecuencia, desde 3 hasta 6 m de altura, y las paredes son de Gypsum de 12 mm con lana de vidrio en la parte posterior para absorber energía en baja frecuencia y desde 6 m hasta el techo de la caja, el tratamiento es absorbente en alta frecuencia para disminuir el campo reverberante de este volumen de aire, evitando cualquier futura molestia en el interior del teatro.

a)



b)



Figura 5. *Tratamiento caja escénica, a) corte escenario marcando zonas tratadas y b) madera perforada en parte superior.*

En condiciones donde todos los tratamientos acústicos mencionados se ubicaban instalados en obra excepto las butacas, se realizaron mediciones acústicas del tiempo de reverberación por el método impulsivo para verificar el estado acústico actual y el futuro escenario una vez que este se encuentre totalmente equipado, por efectos prácticos los valores medidos se compararon con los calculados matemáticamente mediante las fórmulas de Sabine y Arau-Puchades, considerando que en el momento de la medición el campo difuso es cuasi uniforme, se observó que los tres datos obtenidos en cada banda de octava presentan variaciones muy pequeñas.

…el futuro escenario una vez que este se encuentre totalmente equipado, por efectos prácticos los valores medidos se compararon con los calculados matemáticamente mediante las fórmulas de Sabine y Arau-Puchades…

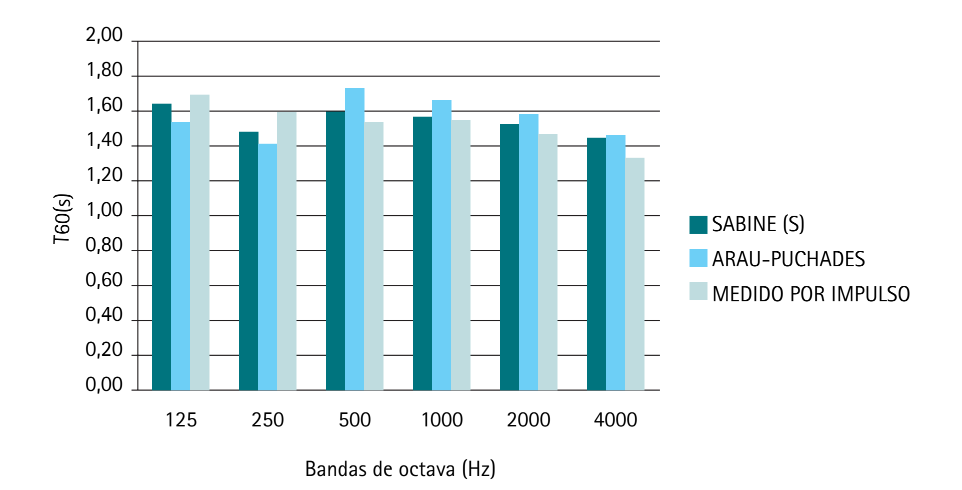


Figura 6. *Tiempo de reverberación de sala sin butacas.*

Resultados

En base a las mediciones acústicas realizadas in-situ, se puede proyectar el tiempo de reverberación final estimado para el teatro en condiciones de sala llena, los coeficientes de absorción usados para las butacas son los expuestos por Higini Arau en el libro "ABC de la acústica arquitectónica". Mediante la fórmula de Peutz se puede calcular el %ALCons para cuantificar la pérdida que presentará la inteligibilidad de la palabra en la sala, mediante las fórmulas de Bistafa y Bradley se pudo calcular la definición (D50) y la claridad de la voz (C50), y considerando la atenuación del sonido en campo de reverberante se calculó la sonoridad de la voz (G) considerando los valores de potencia acústica de un orador expuesto por Higini Arau en el libro anteriormente mencionado, los resultados promedios de la sala son los siguientes:

Mediante la fórmula de Peutz se puede calcular el %ALCons para cuantificar la pérdida que presentará la inteligibilidad de la palabra en la sala, mediante las fórmulas de Bistafa y Bradley se pudo calcular la definición (D50) y la claridad de la voz (C50)…

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
T60 (s)	1,13	0,99	0,88	0,83	0,82	0,81
%ALCons	4,2%	3,3%	2,7%	2,5%	2,4%	2,4%
Definición D50	0,78	0,82	0,84	0,86	0,86	0,86
Claridad C50 (dB)	5,6	6,5	7,3	7,7	7,8	7,9
Sonoridad G (dB)			5,95	5,64	5,58	

Tabla 1. *Resultados de las características acústicas del teatro.*

Con la incorporación de las butacas el Tmid de la sala quedará bajo los criterios de diseño con un valor de 0,85 segundos, que se adapta para presentaciones habladas y de música amplificada, para presentaciones de música de cámara y no amplificadas el T60 logrado no es compatible. Por otro lado los valores promedio de %ALCons garantizan una inteligibilidad "buena" en todos los asientos, el D50 cumple con los requisitos que exigen un mínimo de 0,65, los valores del C50 se encuentran sobre el mínimo recomendado de 2 dB y la sonoridad G se encuentra dentro del rango óptimo para sala dedicadas a la voz, por lo que se espera que su funcionalidad para este tipo de eventos sea óptima con una inteligibilidad de la palabra elevada.

Conclusiones

- El diseño del cielo raso 50% absorbente-50% reflectante puede ser modificado para aumentar el T60 de la sala en caso de ser necesario, mediante la instalación de paneles reflectantes adicionales.
- Considerando que al momento de instalar las butacas el campo difusor de la sala se torna poco uniforme, los valores proyectados del T60 puede sufrir variaciones de hasta un 35% por lo que es mejor caracterizar la sala mediante el procedimiento de la ISO 3382 para obtener resultados reales.
- En caso de requerir una acústica variable para adaptar al recinto como sala de concierto se pude recurrir en futuras instancias a la instalación de un sistema de acústica variable activo (electrónico) como el ERES o CARMEN.

Referencias

[1.] Long, Marshall; Architectural Acoustics; Elsevier Academic Press; Londres (2006)
[2.] Cox, Trevor; D´Antonio, Peter; Acoustic Absorbers and Diffusers, Second edition, Taylor & Francis; New York (2009)
[3.] Arau, Higini; ABC de la acústica arquitectónica,
[4.] Carrión, Antoni; Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos; Edicions UPC; Barcelona (1998)
[5.] J.S. Bradley et.al., “On the importance of early reflections for speech in rooms” J. Acoust. Soc. m. 113 (6),(June 2003)

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-ACÚSTICAS

DE LAS FLAUTAS TRAVERSAS DE CARRIZO UTILIZADAS EN LAS FIESTAS DE COTACACHI

jose217@gmail.com
Universidad de las Américas
2011
Quito – Ecuador

Recepción, aceptación y versión final:
Abril / 2011
SONAC, pp. 19-27

Resumen

Las flautas traversas de carrizo de Cotacachi son parte de los pocos instrumentos musicales indígenas del país que han mantenido sus características desde sus inicios. La fabricación de estos instrumentos han llegado hasta estos días únicamente por tradición oral.

La elaboración de estas flautas es empírica. Los constructores se basan en un patrón definido para emular las características físicas, mientras que las características sonoras se obtienen únicamente al oído. De esta manera difícilmente se puede obtener el mismo resultado siempre, e incluso la técnica varía según el constructor.

Sin embargo, las flautas siempre cumplen con el objetivo social de acompañar las celebraciones tradicionales de Cotacachi.

A través de mediciones y análisis de las características físicas - acústicas de las flautas, basándose en parámetros conocidos de la música occidental, es posible determinar características que permitan de alguna forma entender la cosmovisión musical indígena a partir de uno de sus principales instrumentos musicales.

Palabras Clave: Instrumentos musicales, características Físicas, medición, análisis acústico de flautas de carrizo.



Abstract

The reed flutes of Cotacachi are part of the few native musical instruments of the country that has maintained it features from the beginning. These instruments reached these days only by oral tradition.



The construction of these flutes is empirical. The builders use a defined pattern to create the new flutes with the same physical features as an old one, while the sound features are obtained by ear. By this method it´s difficult to obtain always the same result.

However the flutes always meet the social objective of accompanying the Cotacachi celebrations.

With the help of measurements and analysis of the physical and acoustic features of the flutes, it´s possible to determine the features that allows the comprehension of the native musical cultures from one of their musical instruments.

Keywords: Musical instruments, physical features, measurements, acoustical analysis of flutes.

Antecedentes

Las flautas traversas de carrizo son tradicionales en varias culturas de la provincia de Imbabura, en las cuales representa un instrumento muy importante no solamente por sus cualidades sonoras, sino también por ser una herramienta mítica para estos pueblos.

El método de elaboración al que son sometidos estos instrumentos no es exacto por lo que no existirán dos flautas iguales, tanto en características físicas como sonoras. Sin embargo, cada año se construyen nuevas flautas para las distintas celebraciones. A pesar de que el sonido emitido por éstas varíe, el objetivo que deben cumplir siempre se logra.

Las características de estos instrumentos son de difícil comprensión para el pensamiento musical occidental, que tiene parámetros ya establecidos, mientras que la música indígena goza de una cultura musical muy grande y a la vez muy diferente, que se mantiene viva en las personas únicamente, por lo que se considera un misterio, que en cada generación se está extinguiendo.

El aporte de la investigación en cualquier rama, permite mantener viva esta tradición y de alguna manera acercarse a la comprensión de la cultura musical de estos pueblos. Mediante la investigación acústica es posible determinar ciertas características de las flautas traversas de carrizo tales como su escala musical, rango de frecuencias o carácter tímbrico. Aunque la investigación se base en parámetros musicales occidentales, con los resultados es posible acercarse a una respuesta sobre el misterio de la música ecuatoriana en general.

Mediante la investigación acústica es posible determinar ciertas características de las flautas traversas de carrizo tales como su escala musical, rango de frecuencias o carácter tímbrico.

Desarrollo

En Cotacachi, cantón de la provincia de Imbabura existen 38 comunidades indígenas. En cada una de ellas se elaboran y se utilizan las

flautas traversas de carrizo, para acompañar las celebraciones que se llevan a cabo como la Semana Santa, el Inti Raymi, el Corpus Christi o la Fiesta de Santa Ana. Varias de estas celebraciones han sido influenciadas por el catolicismo, aunque el uso de estos instrumentos se mantienen como una tradición pagana ancestral.

La construcción de estas flautas se ha mantenido únicamente por tradición oral, con un método artesanal netamente empírico. A pesar de que con la tecnología se han facilitado los procesos de elaboración, varios constructores mantienen el procedimiento ancestral a la hora de la construcción.

Para el estudio de las características físico-acústicas de las flautas traversas de carrizo, se han escogido un par de flautas medianas casadas elaboradas por Mariano Quinchuqui de la comunidad de Cotama.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS FLAUTAS

Se ha tomado en cuenta principalmente las medidas de longitud y diámetro de cada uno de los agujeros de la flauta, ya que estos influyen directamente en el sonido que producen. Para tener una idea de cómo se ve la flauta se presenta la siguiente imagen.



Figura 1. *Fotografía de flauta de carrizo utilizada en fiestas de Cotacachi.*

Cada parte de la flauta ha sido nombrada de la siguiente forma:

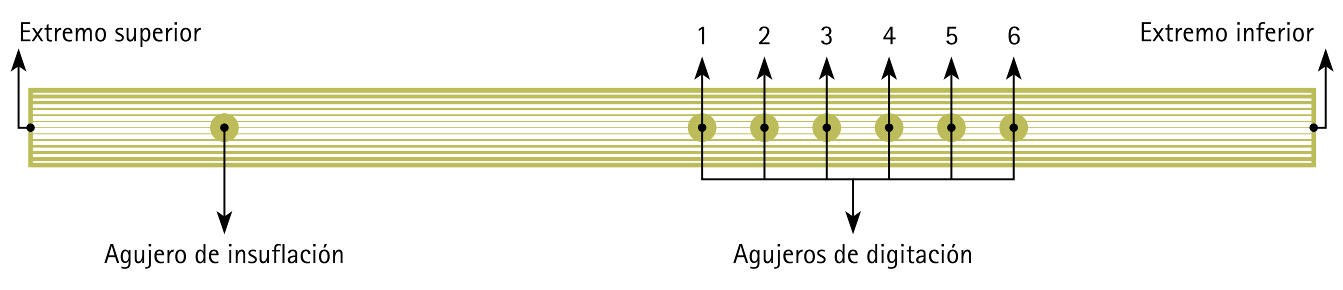


Figura 2. *Vista superior de flauta de carrizo*

Al obtener las medidas físicas de ambas flautas, es posible realizar una comparación entre ellas para determinar sus diferencias y semejanzas.

MEDICIÓN DE ESPECTRO Y RANGO DE FRECUENCIAS

Para realizar la medición del espectro y rango de frecuencias se grabó una interpretación realizada por el músico Diego Guzmán de Cotacachi. Posteriormente este registro fue sometido a análisis a través del software HamAlyzer que presenta los resultados en una gráfica de una escala logarítmica de frecuencia vs. amplitud.

Se utilizó la grabación de un tono de San Juan interpretado con ambas flautas y también cada nota que emite la flauta individualmente. Para este último paso se obtuvieron resultados iguales para ambas flautas, por lo que el análisis posterior será exactamente el mismo para las dos.

MEDICIÓN DEL CARÁCTER TÍMBRICO DE LA FLAUTA

Para este proceso se utilizaron los resultados del análisis del rango de frecuencias para determinar la frecuencia fundamental y la composición armónica de cada una de las notas musicales emitidas por la flauta. De esta manera se puede apreciar si la relación armónica entre la frecuencia fundamental y cada uno de los armónicos es exacta o varía de alguna forma.

MEDICIÓN DE ENVOLVENTES DE LA FLAUTA

Para obtener los envolventes de cada una de las notas musicales de la flauta, se introducen las grabaciones a un programa que permite medir los tiempos de cada uno de los parámetros que constituyen al envolvente acústico. Este procedimiento tiene un propósito dirigido más hacia una aplicación que permitirá emular el sonido de la flauta a través de tecnología MIDI.

Este procedimiento tiene un propósito dirigido más hacia una aplicación que permitirá emular el sonido de la flauta a través de tecnología MIDI.

Resultados

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS FLAUTAS

Mediante el uso de herramientas de medición precisa, se obtuvieron distintos resultados para las dos flautas medidas. Las diferencias físicas de las flautas se deben a su método de elaboración, que por más cuidado que tenga el constructor, siempre se encontrarán diferencias mínimas entre una flauta y otra. Los resultados se presentan a continuación:

FLAUTA 1	MEDIDAS	FLAUTA 2	MEDIDAS
Longitud Total	45.9 cm.	Longitud Total	45.9 cm.
Diámetro 1	2.96 cm.	Diámetro 1	3.1 cm.
Diámetro 2	2.85 cm.	Diámetro 2	2.74 cm.
Diámetro agujero de insuflación	1.07 cm	Diámetro agujero de insuflación	1.1 cm.
Diámetro agujero de digitación 1	0.82 cm.	Diámetro agujero de digitación 1	0.83 cm.
Diámetro agujero de digitación 2	0.82 cm.	Diámetro agujero de digitación 2	0.83 cm.
Diámetro agujero de digitación 3	0.83 cm.	Diámetro agujero de digitación 3	0.8 cm.
Diámetro agujero de digitación 4	0.82 cm.	Diámetro agujero de digitación 4	0.84 cm.
Diámetro agujero de digitación 5	0.83 cm.	Diámetro agujero de digitación 5	0.83 cm.
Diámetro agujero de digitación 6	0.85 cm.	Diámetro agujero de digitación 6	0.86 cm.

Tabla 1. *Características físicas de las flautas analizadas.*

A pesar de que las flautas son casadas, construidas por la misma persona al mismo tiempo, existen diferencias en todas sus dimensiones físicas.

RANGO DE FRECUENCIAS DE LA FLAUTA

El resultado se presenta en el siguiente gráfico:

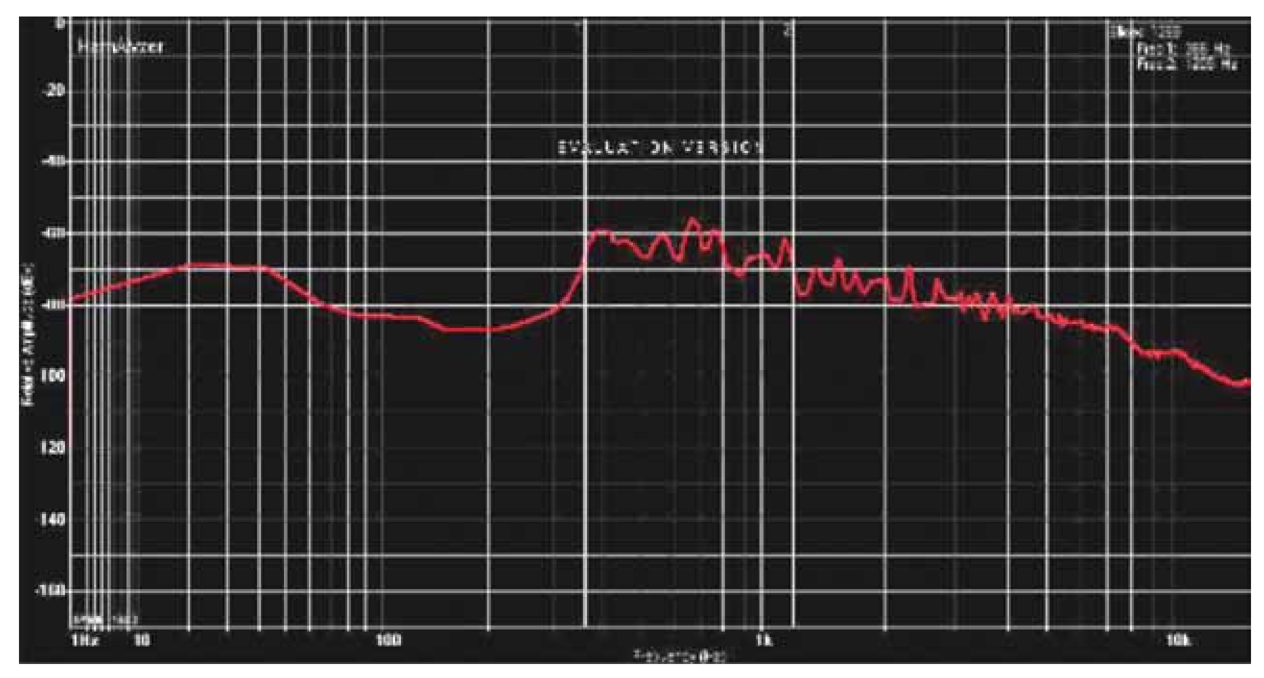


Figura 3. *Respuesta de frecuencia de flautas de carrizo.*

Como se puede observar el rango de frecuencias está limitado por las frecuencias de corte que se encuentran en 366 Hz y 1205 Hz.

CARÁCTER TÍMBRICO DE LA FLAUTA

Mediante los resultados de los análisis de frecuencias se han determinado las frecuencias fundamentales y cada uno de los armónicos para las notas musicales que emite la flauta.

Nota de la Flauta	Frecuencia Fundamental	Armónico 2	Armónico 3	Armónico 4	Armónico 5	Armónico 6
Tapando 6 agujeros	387	775	1162	1550	1162	2691
Tapando 5 agujeros	430	861	1291	1744	1291	2605
Tapando 4 agujeros	473	947	1421	1894	1421	2842
Tapando 3 agujeros	516	1012	1528	2024	1528	3057
Tapando 2 agujeros	538	1098	1636	2196	1636	3273
Tapando 1 agujeros	602	1205	1808	2411	1808	
Tapando 0 agujeros	645	1291	1959	2605	1959	

Tabla 2. *Frecuencias fundamentales y armónicos de la flauta 1.*

Con estos resultados se puede determinar que la relación de la frecuencia fundamental con cada uno de los armónicos no es exacta. Esto se debe a la forma irregular del carrizo e incluso puede ser en parte producida por el nudo que presenta la flauta en la mitad.

DISTANCIAS DE INTERVALOS DE LA FLAUTA

Aproximando cada una de las frecuencias fundamentales de las notas de la flauta al sistema musical occidental, se puede determinar qué nota pertenece a cada una de las posiciones de los dedos al ejecutar la flauta. De esta manera se determinó que la flauta está afinada en Sol central o G4 y las siguientes notas. Éstas poseen distancias muy irregulares que no siguen un orden lógico.

Nota de la Flauta	Frecuencia Fundamental	Nota Musical	Nota real temperada	Diferencia nota real y temperada
Tapando 6 agujeros	387	G4	392	-5
Tapando 5 agujeros	430	A4	440	-10
Tapando 4 agujeros	473	A4#	466,16	-6,84
Tapando 3 agujeros	538	C5	523,25	14,75
Tapando 2 agujeros	559	C5#	554,37	4,63
Tapando 1 agujeros	602	D5	587,33	-14,67
Tapando 0 agujeros	645	D5#	622,25	-22,75

Tabla 3. *Frecuencias fundamentales y armónicos de la flauta 2.*

En la tabla se puede apreciar qué nota musical del sistema occidental corresponde a cada una de las notas que se ejecutan en la flauta. Las distancias entre cada nota pueden ser de un tono, un semitono e incluso menores.

SONIDO PRODUCIDO EN RELACIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA FLAUTA

Como todo instrumento de tubo abierto, la longitud de la flauta influye directamente en la frecuencia fundamental de la misma, es decir en su afinación. Los agujeros de digitación están relacionados con la escala musical que la flauta tendrá. Estas afirmaciones son comunes entre todo tipo de flautas, sin embargo las características particulares del carrizo y el proceso de elaboración al que está sujeto, dan la particularidad al sonido que se obtiene de las flautas que caracteriza a la música de estos pueblos.

RANGO DE FRECUENCIAS EN RELACIÓN A LA BÚSQUEDA DE UNA ESCALA MUSICAL

Mediante la determinación del rango de frecuencias se ha encontrado una extensión de catorce notas que se emiten con claridad en la flauta. Con ayuda de la distancia interválica encontrada se ha determinado que la escala musical de la flauta es la siguiente:

G4	A4	B4b	C5	Db5	D5	Eb5

Cada una de estas notas corresponde a las posiciones de los dedos, desde todos los agujeros de digitación tapados, hasta todos los agujeros de digitación destapados.

APLICACIÓN

A través de las características acústicas obtenidas, es posible emular su sonoridad mediante el uso de tecnología MIDI. Para este proceso se utilizó el software Reaktor 4.0 de Native Instruments. Este software permite utilizar módulos preestablecidos para interconectarlos entre ellos y así generar un sintetizador con las características que el usuario desee. De esta manera se utilizaron los parámetros necesarios para controlar las características sonoras de la flauta, y al interconectarlos, poder emular su sonoridad.

Conclusiones

- Se ha logrado determinar las características físico-acústicas de dos flautas traversas de carrizo utilizadas en las fiestas de Cotacachi. Sin embargo los resultados no se pueden generalizar para todas las flautas de este tipo debido al método de elaboración al que están sujetas.
- Por medio de las características sonoras de las flautas traversas de carrizo obtenidas en la investigación, se ha logrado determinar que su particularidad no tiene relación alguna con el pensamiento musical occidental.
- Fue posible utilizar las características sonoras de las flautas traversas de carrizo para emular su sonoridad mediante el uso de tecnología MIDI.
- Se ha determinado que la sonoridad de la flauta traversa de carrizo depende de varios factores como la forma de interpretación, el ambiente, el músico, el momento e incluso la comunidad a la que pertenece.
- Todos los resultados obtenidos son aproximaciones a estructuras musicales ya establecidas de origen occidental, y aunque dan una idea de las características musicales ecuatorianas, no permiten poseer la verdad sobre la cultura musical del país ni sobre el instrumento musical analizado.
- La escala musical de las flautas traversas de carrizo encontrada, puede sustentar varias teorías de que la música ecuatoriana es microtonal y/o modal.
- Las flautas casadas en este caso, únicamente se diferenciaron en sus características físicas, ya que en sus características sonoras se obtuvieron resultados exactamente iguales.
- Estas tradiciones están desapareciendo con el paso de los años. Se pudo apreciar que este tipo de investigación también genera interés, lo que podría contribuir a que no desaparezca esta tradición.

Referencias

[1] MIYARA, Federico: Acústica y Sistemas de Sonido. Tercera Edición, Editora de la Universidad Nacional de Rosario (2003).
[2] MORENO, Segundo Luis: La Historia de la Música en el Ecuador. Quito, Editorial de la Casa de la Cultura Ecuatoriana (1972).
[3] MORENO, Segundo Luis: Cotacachi y su Comarca. Quito, Editorial Don Bosco (1966)
[4] PONTÓN, Julián: Análisis Electroacústico de Instrumentos Musicales de Tradición Oral en el Ecuador. Quito, Conservatorio Nacional Superior de Música, DIC (2006).
[5] GUERRERO GUTIÉRREZ, Pablo: Enciclopedia de la Música Ecuatoriana. Quito, Corporación Musicológica Ecuatoriana CONMUSICA (2004-2005).
[6] TIANA, Fundación: El Elefante de Cotacachi. Quito, Ministerio de Cultura del Ecuador (2009).
[7] TIANA, Fundación: Purutu Maytuk. Cotacachi, Ministerio de Cultura del Ecuador (2009).
[8] ANDRADE, Marco: Etnohistoria de Cotacachi. Cotacachi (2008).
[9] GUZMÁN, Diego: Construcción de Flautas de Carrizo y su Pensamiento Microtonal. Ibarra, Casa de la Cultura Ecuatoriana (2009).
[10] FÍSICA Flauta Traversa, por Alan Garbarz, Rodrigo Martínez, Claudio Iemmi, Javier Mazzaferri, Mirta Villareal. Buenos Aires, FCEN UBA (2003).
[11] UNORCAC: Caracterización de las Condiciones de Vida de las Familias de las Comunidades de la Zona Andina de Cotacachi. Cotacachi, Documento (2006).
[12] ENTREVISTA: Carlos Coba, Realizada por Diego Guzmán, Otavalo (2008)
[13] ENTREVISTA: Miguel Calapi, Realizada por Diego Guzmán, Cotacachi (2008).



ESTUDIOS

Producción Musical
Grabación, Mezcla y Masterización
Estudio Móvil

Estudio de Grabación

Live Room de 53 m2, techo de 4,20 ms - Cabina de Voces/Amps

Sistema: Mac Pro - Pro Tools - Logic Pro - Ableton Live.
Monitoreo: Dynaudio - Yamaha.
Outboard: Apogee, Neve, API, Universal Audio, Empirical Labs, A-Designs, Digidesign.
Microfoneo: Neumann, AKG, Sennheiser, Electro Voice, Audix, Shure.
Backline: Yamaha U3 Upright Piano, Bogner Alchemist, Vox AC30, Marshall JCM800, Mesa Boogie Studio Pre, Roland Jazz Chorus, Fender Champ, VM Corporation amps.
Instrumentos: Gibson, Fender, Hofner, Ovation, Yamaha, Korg.

Estudio de Mezcla

Sala de mezcla de 20 m2

Sistema: Mac Pro - Pro Tools - Logic.
Outboard: Lynx Aurora 16, Dangerous Music 2-Bus LT.
Monitoreo: Dynaudio.

VIDEO - 3D - DISEÑO

Videos musicales, comerciales para televisión, conciertos, VJ, documentales, edición • Efectos especiales, animación, modelado, texturado, creación de personajes, 3D para gráfica • Diseño Gráfico, fotografía artística y comercial, identidad corporativa, afiches, empaques, páginas web, multimedia, ilustración, creatividad publicitaria.



510-1000 / 222-8075 • Orellana 670, entre Coruña y 6 de Diciembre, Edificio UNIFER, Segundo Piso

www.laincreiblesociedad.com

CÓMPUTO DE LAS RESPUESTAS IMPULSIVAS BI- AURICULARES

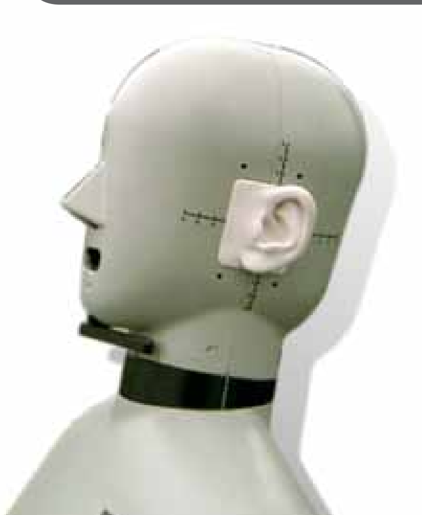
USANDO REDES NEURALES ARTIFICIALES

José F. Lucio Naranjo
josefranciscolucio@hotmail.com
Universidad de las Américas

Roberto Aizik Tenenbaum
ratenenbaum@gmail.com
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Julio Cesar B. Torres
julio@poli.ufrj.br
Universidade Federal do Rio de Janeiro

2011
Quito - Ecuador



Recepción, aceptación y versión final:
Abril / 2011
SONAC, pp. 29-40

Resumen

Este trabajo presenta un nuevo enfoque para obtener las Respuestas Impulsivas Bi-auriculares (BIR – Binaural Impulse Response) a ser aplicadas en sistemas de aurilización, a través del uso de Redes Neurales Artificiales (ANN – Artificial Neural Network). La meta principal es implementar las modificaciones espectrales de una Respuesta Impulsiva Relacionada a Cabeza Humana (HRIR – Head-Related Impulse Response) usando una ANN, en vez de realizar el procedimiento tradicional de procesamiento de señales que envuelve convoluciones a través de transformadas de Fourier. Los datos de entrada para la red entrenada son rayos acústicos que llevan consigo el espectro de energía y la dirección de llegada. Estos rayos son obtenidos con el método híbrido implementado en el programa de simulación acústica RAIOS. Las pruebas realizadas sobre un subconjunto de direcciones de HRIRs muestran que el nuevo método es capaz de substituir el procedimiento tradicional y generar los componentes de las RIBs con errores muy pequeños y a un costo computacional mucho menor que el del método tradicional. Los resultados en dominio de tiempo y frecuencia son presentados y discutidos.

Palabras Clave: Respuestas impulsivas bi-auriculares, Auralización, Redes neuronales artificiales, Simulación acústica de salas.

Abstract

This work presents a new approach to obtain the Binaural Impulse Responses (BIRs) to be applied in auralization systems, by using Artificial Neural Networks (ANN). The main goal is to implement the spectral modification of a Head-Related Impulse Response (HRIR) by using a neural network, instead of performing traditional signal processing such as convolution through Fourier or wavelet transforms. The input data for the trained networks are acoustic rays carrying the power spectrum and the arriving direction. These rays were obtained with the hybrid method implemented at the acoustic simulation program RAIOS. The tests performed over a subset of HRIR directions show that the new method is capable to substitute the traditional procedure and to generate BIR's components with very small errors and much lower computational effort than the traditional method. Time and frequency domain results are presented and discussed.

Keywords: Binaural Impulse Responses, Auralization, Artificial Neural Networks, Hall´s acoustical simulation.

Antecedentes

En la actualidad, la simulación acústica no solo abarca la obtención de parámetros acústicos como niveles y tiempos de reverberación, sino que también exige la presencia de una poderosa herramienta: La auralización. Esta consiste en generar el sonido que escucharía una persona dentro de un ambiente simulado, el mismo que puede ser desde una simple sala, un teatro o hasta un espacio urbano. Este sonido debe ser reproducido a un ser humano, en un ambiente libre de reflexiones sonoras, por ejemplo en una cámara anecóica, la misma que no estaría disponible para la mayoría de usuarios, o a través de audífonos ecualizados. De cualquier forma, esta reproducción requiere la simulación de las Funciones de Transferencia Asociadas a Cabeza Humana (HRTFs), responsables de brindar la sensación de sonido tridimensional y la habilidad del ser humano de distinguir la posición de la fuente sonora [1].

Este sonido debe ser reproducido a un ser humano, en un ambiente libre de reflexiones sonoras, por ejemplo en una cámara anecóica, la misma que no estaría disponible para la mayoría de usuarios, o a través de de audífonos ecualizados

Desde el punto de vista de simulación, la propagación sonora en un espacio cerrado puede ser modelado por métodos como el de trazado de rayos [2], transición de energía [3] o técnicas híbridas [4]. Estos métodos deben ser capaces de predecir las tres principales características del campo acústico: su energía por banda de frecuencia, la dirección de propagación y la distancia recorrida. Estas informaciones, junto con las HRTFs, permiten al modelo simular la percepción humana de un sonido emitido por una fuente sonora.

El código computacional RAIOS (Room Acoustics Integrated and Optimized Software) ha demostrado ser un simulador acústico eficiente y confiable [5]. Por lo tanto, la estructura interna de datos que almacena la información sonora de un receptor, el espectro de potencia, la

dirección y el tiempo de llegada de cada rayo, puede ser considerada una representación bastante precisa del sonido captado y por lo tanto, constituye el punto de partida de este trabajo.

La propagación esférica del sonido es simulada a través del uso de varios rayos acústicos distribuidos homogéneamente en diversas direcciones [4]. La energía de la fuente sonora es, por lo tanto, distribuida equitativamente entre estos rayos y de esta forma se inicia el proceso de la propagación de la onda. El simulador acústico RAIOS implementa dos métodos para computar la propagación de la onda: El método de trazado de rayos, para modelar las reflexiones especulares [2]; y el método de transición de energía [3], usado para modelar el proceso de difusión. Durante la ejecución de los dos algoritmos, cuando un rayo alcanza un receptor, su energía por banda de octava, su dirección y tiempo de llegada son almacenados para su uso posterior durante el proceso de auralización. Al final de la fase de propagación, en la base de datos del programa es almacenada la información de aproximadamente 100.000 rayos, para cada par fuente receptor. Vale la pena notar que sumar esta información, considerando el tiempo de llegada, producirá la Respuesta Impulsiva de la Sala (RIR), para ese específico par fuente-receptor.

La fase de auralización comienza donde el método de propagación termina. En este punto, el modelo del receptor tiene que considerar alcanzar representar la impresión humana tridimensional de captación del sonido, esto significa, generar la Respuesta Impulsiva Bi-auricular (BIR). Tradicionalmente, el cómputo de cada componente de una BIR es realizado mediante la convolución del espectro de cada rayo con su respectiva Respuesta Impulsiva Asociada a Cabeza Humana (HRIR), la cual es una HRTF expresada en el dominio del tiempo. Por supuesto, esta convolución es realizada en el dominio de la frecuencia. Este proceso debe ser repetido una vez para cada oído y para cada uno de los 100.000 rayos almacenados en la base de datos del receptor, lo que lleva a 200.000 multiplicaciones complejas de los espectros y 100.000 transformadas inversas de Fourier.

La base de datos de HRTFs del MIT usada en este trabajo, fue estructurada con mediciones para cada oído de una cabeza artificial, considerando 720 direcciones alrededor del punto central de la cabeza, lo que lleva a un total de 1440 funciones cuyo tamaño es de 512 coeficientes temporales [6, 7]. Varios trabajos han sido presentados sobre la reducción del tamaño de las HRIR y/o la reducción del número de direcciones a ser computadas, intentando no deteriorar las características [8] mientras se reduce el costo computacional.

Otro aspecto que aumenta la carga de procesamiento es el hecho que, raramente, un rayo llega al receptor exactamente en una de las direcciones medidas presentes en la base de datos de HRIRs. Por lo tanto, para cada rayo, es necesario interpolar tres o más HRIRs [9], cercanas a la dirección del rayo, de manera que se encuentre la función – una HRIR interpolada – para aplicar la técnica descrita en la Fig. 1. El abordaje más simple consiste en aplicar una media geométrica sobre 3 HRIRs

cuyas direcciones sean las tres más próximas a la dirección del rayo. Sin embargo , no es tan simple, debido a que las HRIRs también llevan información sobre las diferencias temporales interauriculares (ITD), las mismas que tienen que ser removidas antes de realizar la media, ser recalculadas para la nueva dirección y reaplicadas a la función. Todo este proceso requiere de más tiempo de computación. Este procesamiento de señales requiere de un tiempo considerable y depende básicamente de dos aspectos principales: El número de rayos que lleva al receptor y la carga de procesamiento que administrará y modificará las HRIRs.

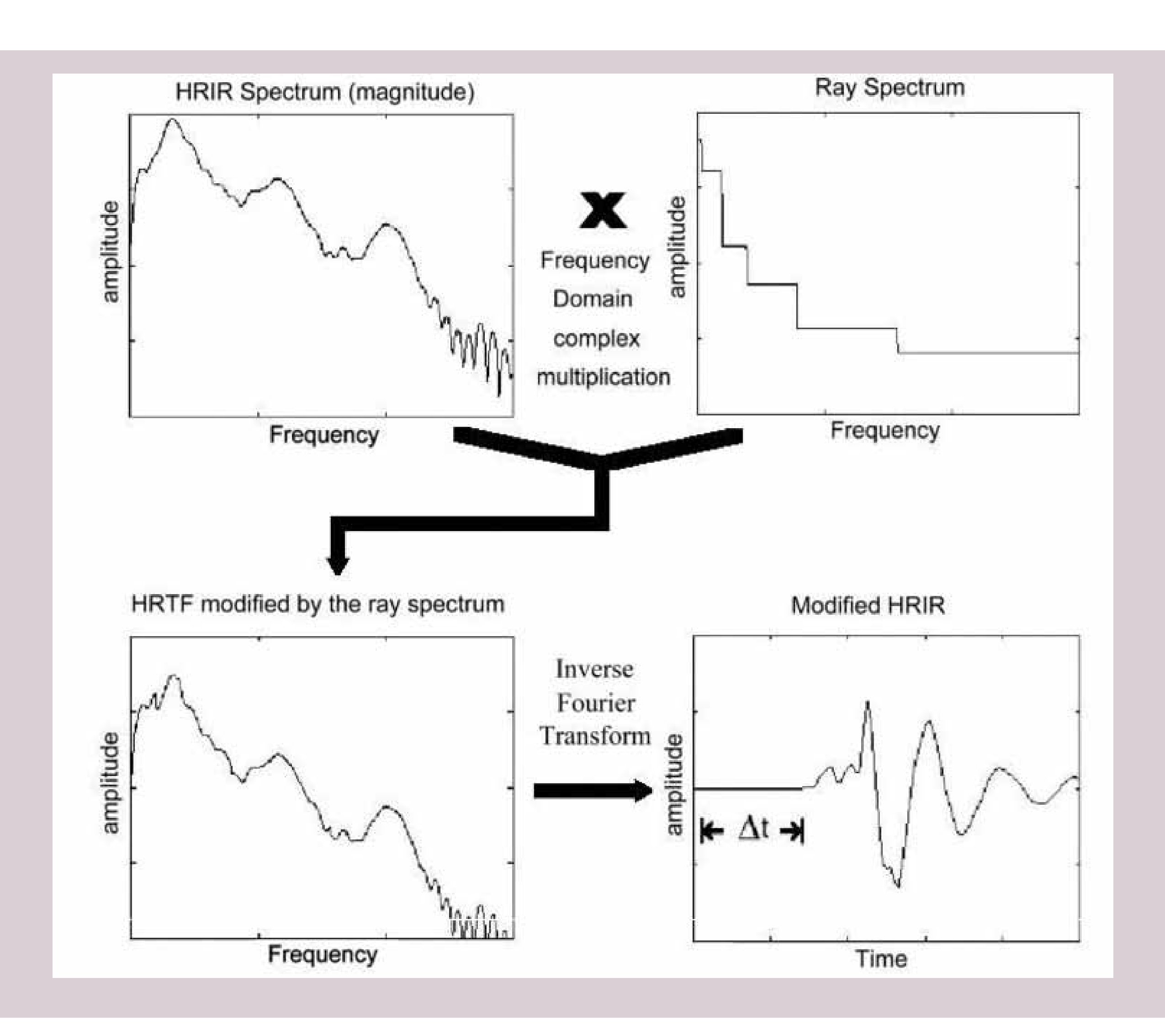


Figura 1. *Ilustración de la técnica tradicional de generación de HRIRs modificadas.*

La generación de las BIRs es el último paso en la cadena de auralización. Estas son generadas por la suma de todas las HRIR modificadas. Estas funciones están correlacionadas con la Respuesta Impulsiva de la Sala y por tanto, al ser convolucionadas con una señal anecóica, ofrecen una auténtica sensación auditiva de estar dentro de un ambiente

(que fue generado virtualmente). La convolución de un sonido anecóico con las dos BIRs puede ser realizada prácticamente en tiempo real, considerando algoritmos rápidos de procesamiento de señales [9].

Este trabajo presenta una eficiente alternativa para obtener HRIRs modificadas. En este enfoque, una Red Neural Artificial (ANN) es usada para substituir el proceso mostrado en la Fig. 1. Una ANN es un sistema con N entradas y M salidas (sistema MIMO) el mismo que es muy útil para interpolar datos, entre otras aplicaciones. La salida de la red es una aproximación basada en datos previos, presentados a la red durante el proceso de entrenamiento. El entrenamiento de una ANN es, en general, caro computacionalmente y requiere segmentación de datos, pre-procesamientos y varios intentos hasta llegar a una topología de red final y su configuración. Sin embargo, cuando el sistema ha sido definido y apropiadamente entrenado, el procesamiento de una ANN es muy rápido y eficiente.

El entrenamiento de una ANN es, en general, caro computacionalmente y requiere segmentación de datos, pre-procesamientos y varios intentos hasta llegar a una topología de red final y su configuración.

Datos de entrada y sus objetivos

Dentro del simulador RAIOS, la estructura que contiene los datos para cada rayo que llega al receptor es considerado el vector con los datos de entrada para la ANN. Nótese como el tiempo de llegada, no es relevante para lo que se refiere al entrenamiento de la red.

Por otro lado, el vector objetivo, que representa un rayo acústico convolucionado con su respectiva HRIR, debe tener 512 coeficientes temporales. Este número fue definido por un experimento de medición usando una tasa de muestreo de 44.1 kHz [7]. Sin embargo, la mayor parte de estos coeficientes tienden a cero, debido al decaimiento natural de estas funciones. Por lo tanto, el vector de entrada podría ser compuesto de aproximadamente 100 elementos [10].

Una vez definida la estructura para los vectores de entrada y objetivo, es necesario tomar una decisión sobre los valores que serán usados durante el entrenamiento de la ANN. Para el vector de entrada, se tomaron valores randómicos entre el intervalo (0,1) para representar el espectro de potencia. Esta decisión previene la influencia de una sala en particular en el proceso de aprendizaje de la red. Los vectores objetivo son funciones de HRIRs modificadas, cada una obtenida con el procedimiento tradicional que envuelve la información contenida en uno de los vectores de entrada y su direccionalmente correspondiente HRIR.

Entrenamiento de la red

El entrenamiento de una ANN es un proceso adaptativo donde los coeficientes de la red varían de acuerdo a las diferencias entre la salida de la red y su vector objetivo, de manera que se minimice el Error Mínimo Cuadrado (MSE) global [11]. El error entre el vector objetivo y la salida de la red, después del proceso de entrenamiento, usualmente presenta valores pequeños. Sin embargo, esto no indi-

ca necesariamente, que la red aprendió correctamente. Esto podría representar apenas el hecho que la red fue bien entrenada apenas para los vectores de entrada usados para este proceso. En estos casos, cuando un vector de entrada, que no fue usado durante entrenamiento, es evaluado por la red, el error aumenta considerablemente. Esto ocurre por un efecto conocido como over-fitting. Cuando una red fue sobre-dimensionada, esta tiende a ser muy específica y aprende detalles de los vectores de entrada, perdiendo su capacidad para generalizar en el caso de evaluar un vector de entrada diferente.

Existen varios métodos para mejorar la capacidad de generalización de una ANN [11]. Un aspecto bien conocido es el tamaño de la red, el mismo que es determinado por el número de capas y el número de neuronas presentes en cada capa. Una red sobre-dimensionada lleva a casos de over-fitting mientras que una sub-dimensionada lleva a salidas imprecisas, debido a la reducida capacidad de aprender de los vectores de entrada. Una solución simple, en lo que se refiere a tamaño, es adaptar la red durante el proceso de entrenamiento. La ANN utilizada en este trabajo fue entrenada usando el Toolbox de MATLAB™, donde la propiedades "divideFcn" y "divideind" [12] fueron configuradas para seleccionar qué vectores de entrada serían usados para entrenamiento, validación y pruebas.

Una red sobre-dimensionada lleva a casos de over-fitting mientras que una sub-dimensionado lleva a salidas imprecisas, debido a la reducida capacidad de aprender de los vectores de entrada.

Los vectores objetivo usados para entrenamiento consistían en HRIRs modificadas, con 128 coeficientes, obtenidos por el proceso descrito en la Fig. 1. En un trabajo anterior, solo para propósitos de evaluación, la red fue entrenada para una cantidad restringida de funciones espaciales [13]. En el primer entrenamiento, el vector de entrada mantuvo fijos los ángulos de azimut y elevación, mientras que los 6 espacios de datos restantes, relacionados con la energía del rayo, fueron llenados con valores randómicos entre 0 y 1. Varios tamaños de red fueron probados, haciendo variar el número de neuronas de 1 y 15 dentro de la única camada intermediaria. El error medio cuadrático obtenido al final de cada entrenamiento sugiere el tamaño de la red que dará mejores resultados. Después de eso, un nuevo entrenamiento fue realizado de manera similar, pero esta vez variando el ángulo de azimut de 0° a 45°. Los resultados fueron satisfactorios sin necesidad de cambiar el tamaño de la red. Vale mencionar que en cada entrenamiento, la red procesó cada vector de entrada 100 veces (épocas).

En este trabajo en particular, una nueva prueba fue realizada para 17 variaciones en la energía del espectro y nuevas direcciones de llegada. El ángulo de elevación variaba desde -40° a 40°, con incrementos de 10°, mientras que el ángulo de azimut variaba desde 20° a 40°, con incrementos de 5°. Las curvas en la Fig. 2 muestran precisamente la presencia de problemas de over-fitting. A medida que el número de neuronas aumenta, mejor es el desempeño para los datos de entrenamiento. Por otro lado, el error crece para los datos de prueba. Notese que a pesar de este incremento, este es del orden de 10^{-5}.

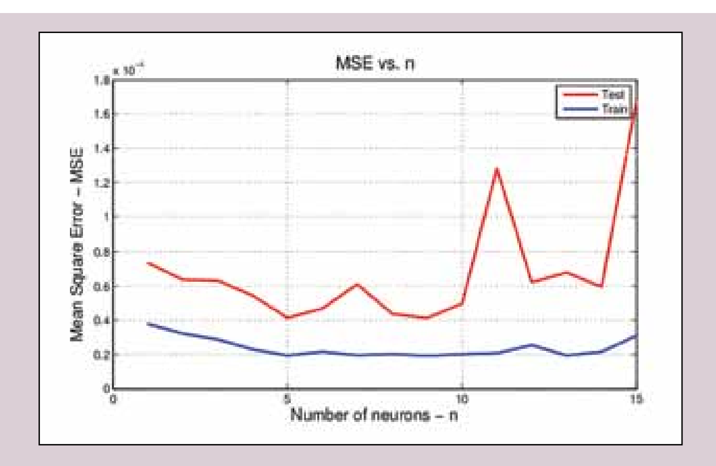


Figura 2. *Error Medio Cuadrado de los datos de entrenamiento y prueba como función del número de neuronas.*

La Figura 3 muestra el detalle del procedimiento de entrenamiento con la configuración de tamaño que produjo mejores resultados. El círculo indica el mejor resultado para los datos de validación, el mismo que es usado normalmente para prevenir problemas de over-fitting.

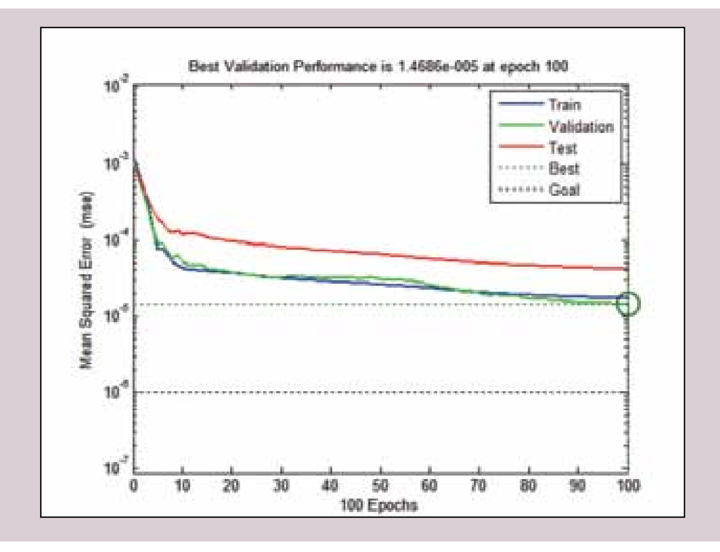


Figura 3. *Error medio cuadrático como función del número de épocas.*

Resultados

Para evaluar los resultados obtenidos con este nuevo enfoque, los vectores objetivo (HRIRs modificadas) que no fueron usados durante entrenamiento (valores de prueba) fueron comparados con sus respectivas salidas de la red. Esta comparación fue hecha en los dominios del tiempo y frecuencia. La Fig. 4 presenta la comparación gráfica entre un vector objetivo de prueba (correspondiente a un vector de entrada no utilizado durante el entrenamiento de la red) y una HRIR modificada usando el método propuesto.

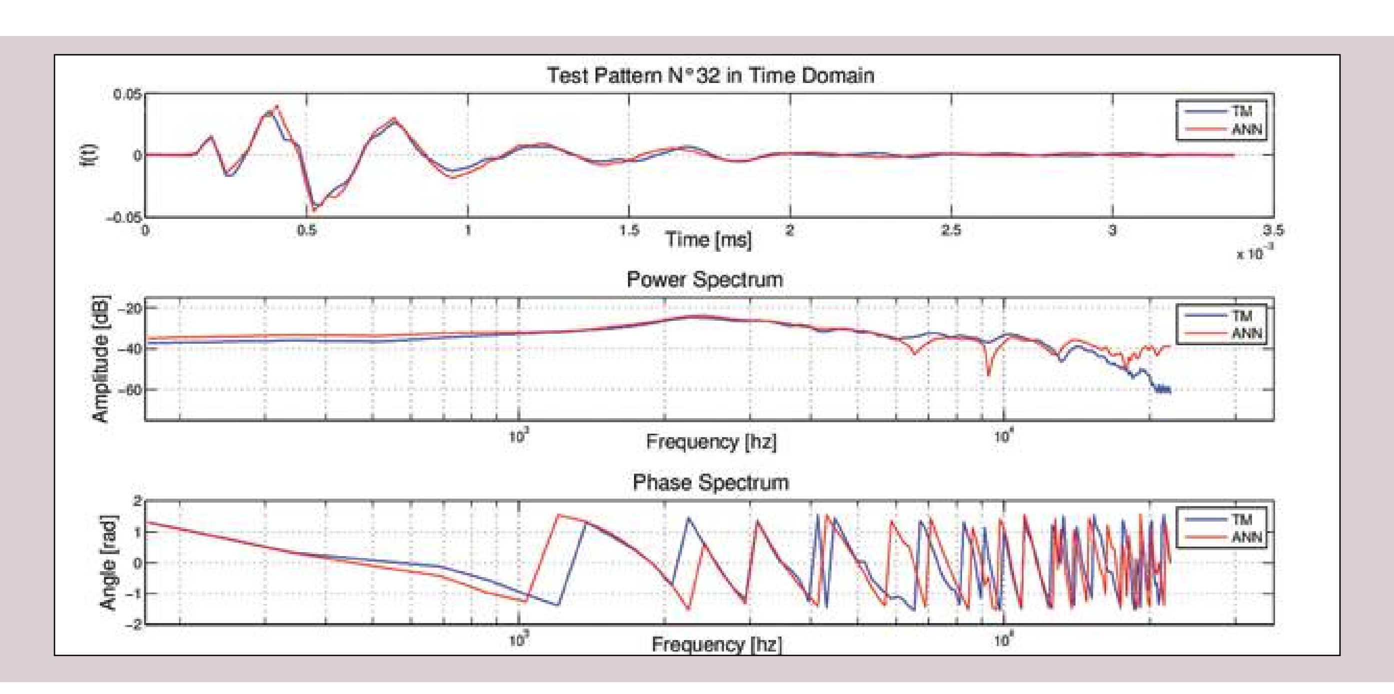


Figura 4. *Comparación de los valores objetivo con la salida de la red.*

De la Fig. 4 se puede observar que la función en el dominio del tiempo sigue la curva original con un error pequeño. En la misma figura, la evaluación en el dominio de la frecuencia está basada en las propiedades de magnitud y fase de la transformada de Fourier. El gráfico de la magnitud también muestra pequeñas diferencias. La respuesta en fase presenta errores mayores, principalmente a altas frecuencias. Sin embargo, la fase tiene menos influencia en la audición humana que la magnitud. Adicionalmente, la mayor parte de la energía de la HRIR modificada está concentrada en el intervalo de 2 a 3 kHz, en el cual el modelo no presentó errores considerables.

Pruebas en una sala real

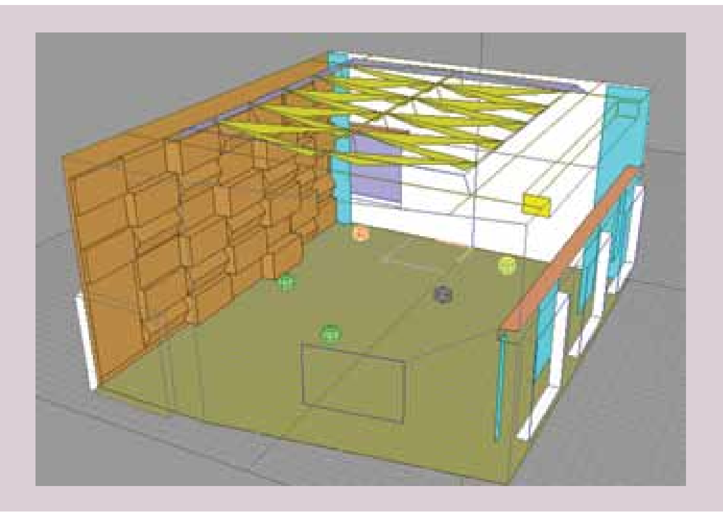


Figura 5. *Estudio de música del PTB de Alemánia, modelado por el software RAIOS durante la intercomparación internacional Round Robin 3, de la cual fueron tomados sus resultados para verificar la capacidad de generalización de una red neural artificial (ANN).*

Para verificar la capacidad de generalización de la ANN, fueron considerados datos de la simulación de una sala real, realizado con el programa RAIOS. La forma general de la sala está detallada en la Fig. 5. Para este trabajo, solo fueron considerados los rayos acústicos que llegaron con un rango de variación de azimut de 20° a 40° y con una variación de la elevación entre -40° a 40°. Adicionalmente, el espectro de potencia fue normalizado, debido a que la ANN fue entrenada a responder a vectores de entrada con valores normalizados.

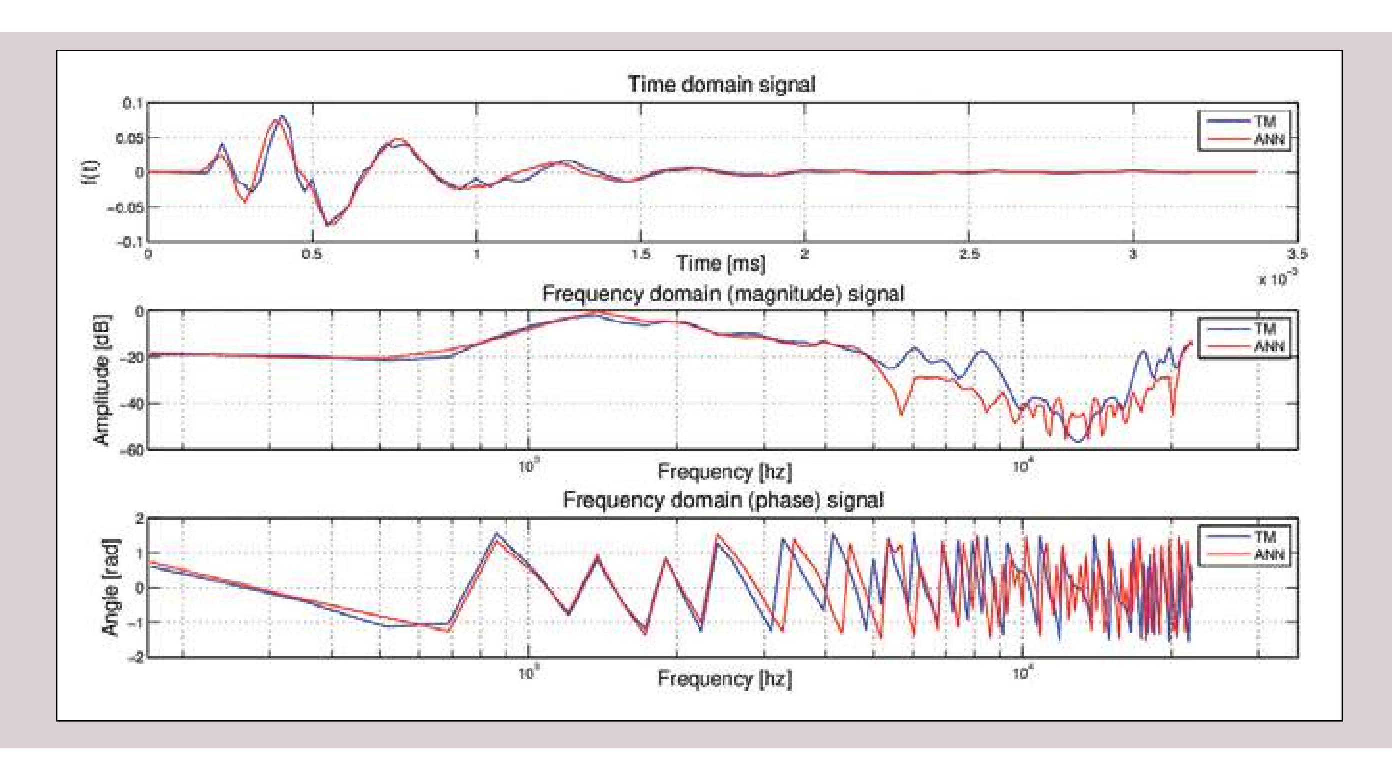


Figura 6. *Resultados comparativos de la red neural artificial y del método tradicional, considerando una dirección de llegada con elevación* $\Psi = 10.43°$ *y azimut* $\Phi = 23.78°$

Las Figs. 6 y 7 muestran los tres resultados comparativos, nuevamente vistos en los dominios del tiempo en la frecuencia (magnitud y fase). Considerando la naturaleza no randómica de estos vectores de entrada, en contraste con los datos utilizados durante el entrenamiento, se puede verificar que la ANN fue capaz de generalizar con éxito.

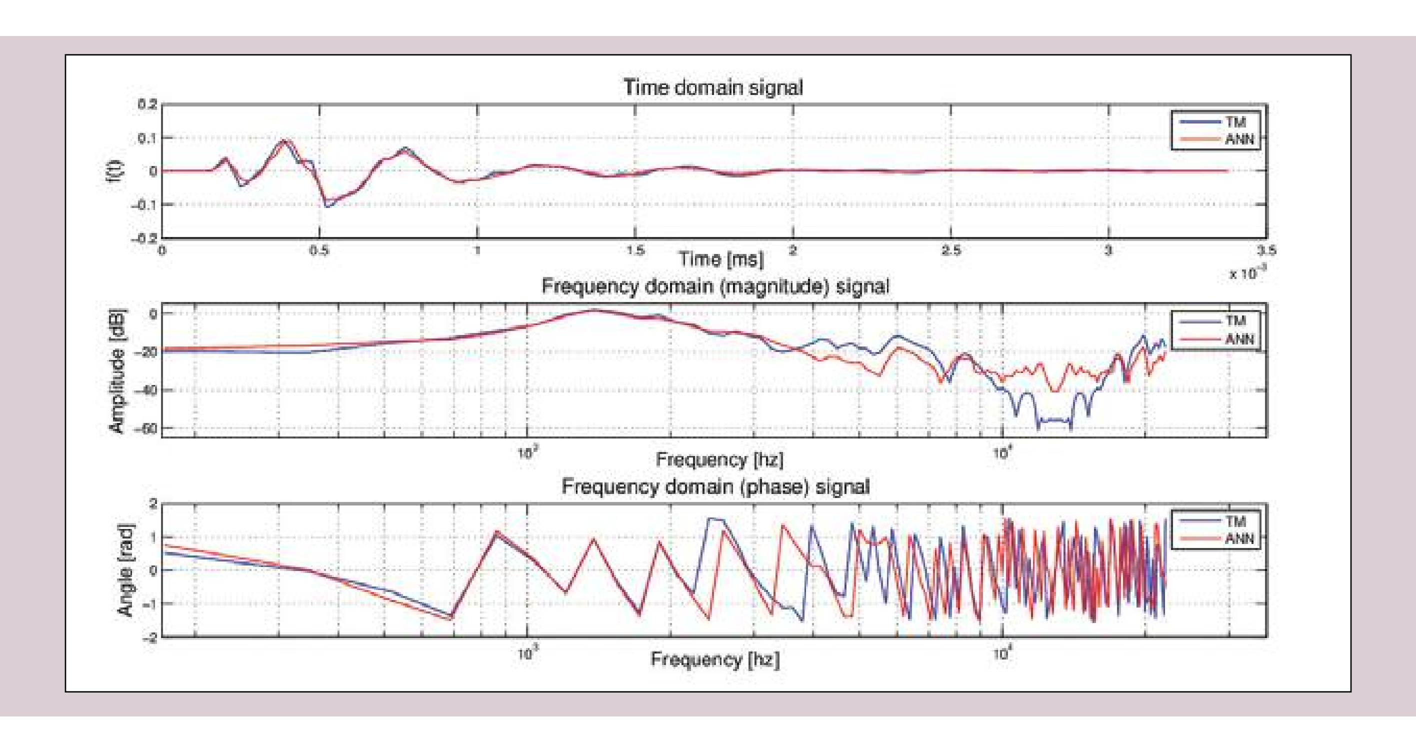


Figura 7. *Resultados comparativos de la red neural artificial y del método tradicional, considerando una dirección de llegada con elevación Ψ =-39.71° y azimut Φ =32.26°.*

Ahorro computacional

En esta sección es presentada una comparación entre el costo de implementación del método tradicional de procesamiento de señales y el peso de cómputo de la fase de ejecución de la ANN. Dado que ambos métodos se basan en operaciones aritméticas elementales, el número de multiplicaciones y sumas son usualmente un parámetro establecido para tal comparación.

El número de operaciones aritméticas A_0 en una ANN durante la fase de ejecución está dada por:

$$A_0 = 2\left[e \cdot n_1 + \left(\sum_{j=1}^{m-1} n_j \cdot n_{j+1} \right) + n_m \cdot s \right]$$

(1)

donde e es el tamaño del vector de entrada, n_i es el número de neuronas en la camada intermedia i, m es el número de camadas intermedias y s es el número de neuronas en la camada de salida.

Los resultados presentados en este trabajo, provienen de un ANN configurada con un vector de entrada de 8 elementos, 1 camada intermedia de 5 neuronas y un vector de salida de 128 posiciones. La función de activación de cada neurona de la camada de salida en una recta, por lo

tanto no aumenta el número de operaciones. No es el caso para cada una de las neuronas de la camada intermedia. Aquí, una Tan-Sigmoid T_S es usada como función de activación, la misma que está dada por:

$$T_S\left(x\right) = \tanh cx = \frac{e^{cx} - e^{-cx}}{e^{cx} + e^{-cx}}$$

(2)

donde c es un valor constante. Los totales correspondientes a la ANN, computada con las Ec. 1 y 2, son presentadas en la primera columna de la Tabla 1.

Operación	ANN	TM
Número de sumas	690	1920
Número de multiplicaciones	690	960
Número total de operaciones	1380	2880

Tabla 1. *Comparación de la carga computacional en número de operaciones entre el Método Tradicional (TM) y una ANN para calcular una HRIR modificada de 128 coeficientes*

Al comparar estos resultados, se puede apreciar que el uso de una ANN lleva a una reducción del costo computacional de más del 53%.

La carga computacional del método tradicional está basada en tres pasos. El primero es generar, vía interpolación, la HRTF correspondiente a la dirección de llegada del rayo. Considerando un método tradicional de interpolación triangular [12] y una HRTF con un tamaño L, la interpolación costará 3L multiplicaciones y 2L sumas. El segundo paso consiste en multiplicar cada coeficiente complejo de la HRTF por la energía del rayo. Esta no es, de hecho, una multiplicación compleja, debido a que, a pesar de la HRTF es compleja, la energía del rayo son números reales. Por lo tanto, la complejidad para este paso es de 2L multiplicaciones. El último paso es la transformada inversa de Fourier, cuya complejidad es $L \log_2 L$ operaciones. Para el caso de L=128, los valores fueron calculados y están indicados en la última columna de la Tabla 1. Al comparar estos resultados, se puede apreciar que el uso de una ANN lleva a una reducción del costo computacional de más del 53%.

Conclusiones

El principal objetivo de este trabajo es presentar un nuevo enfoque para implementar las modificaciones espectrales de las HRIR utilizando una red neural artificial. El procesamiento de señales envuelto, puede ser reemplazado por una ANN cuya salida presenta errores muy pequeños, comparados con sus correspondientes vectores objetivo. Las comparaciones preliminares, realizadas en el dominio del tiempo y la

frecuencia, muestran que una red pequeña, con una camada intermedia de 5 neuronas, es capaz de substituir un método tradicional computacionalmente más caro. En esta investigación, un grupo restringido de funciones espaciales fueron usadas para verificar la capacidad de aprendizaje de la ANN. Es necesaria más investigación para desarrollar una red neural artificial capaz de generalizar para todas las direcciones alrededor de una cabeza humana. Las pruebas preliminares muestran que, a pesar de la complejidad de un entrenamiento que considere todas las direcciones, el tamaño de la red aun será lo suficientemente pequeño para brindar confiables y rápidos resultados.

Referencias

[1] J. Blauert, *Spatial Hearing*, The MIT Press, Cambridge (1997).

[2] A. Kulowski, Algorithmic representation of the ray tracing technique, *Applied Acoustics*, Vol. 18, 449-469, (1984).

[3] J.J. Embrechts, On modeling of room acoustics by a sound energy transition approach., *Acustica* vol. 51, 285-295 (1982).

[4] R.A. Tenenbaum, T.S Camilo, J.C.B. Torres and S.N.Y. Gerges, Hybrid method for numerical simulation of room acoustics: Part 1 - Theorical and numerical aspects., *J. Brasilian Soc. Mech. Sci. and Eng.* vol. 29, n. 2, 211-221 (2006).

[5] I. Bork, Report on the 3rd Round Robin on room acoustical computer simulation - Part II: Calculations. *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 91, 4, 753-763, (2005).

[6] D.M. Thompson, V.R. Algazi, R.O. Duda, C. Avendano, The CIPIC HRTF database, *WASSAP '01 IEEE ASSP Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, (2001).

[7] B. Gardner, K. Martin, HRTF Measurements of a KEMAR Dummy-Head Microphone., *J.~Acoust.~Soc.~Am.* vol. 97, n. 6, 3907-3908 (1995).

[8] J.C.B. Torres, M.R. Petraglia and R.A. Tenenbaum, An Efficient wavelet-based HRTF for auralization., *Acta Acustica united with Acustica* vol. 90, n. 1, (2004).

[9] M. Vorländer, *Auralization - Fundamentals of Acoustics, Modeling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*, Springer-Verlag, Berlin, (2008).

[10] T. Ajdler, C. Faller, L. Sbaiz and M. Vetterli, Sound Field Analysis along a Circle and Its Applications to HRTF Interpolation, *J.~Aud.~Eng.~Soc.* vol. 56, n. 3, 156-175 (2008).

[11] O. De Jesús, J.M. Horn and M.T. Hagan, Analysis of Recurrent Network Training and Suggestions for Improvements, *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, Washington, DC, July 15-19 (2001).

[12] H. Demuth, M. Beale and M. Hagan, *Neural Network Toolbox*, User's Guide, The MathWorks, Inc. (2010).

[13] J.F. Lucio Naranjo, R.A. Tenenbaum and J.C.B. Torres, Using artificial neural networks to generate virtual acoustic reality applied on escape training in blind conditions, *International Review of Chemical Engineering* vol. 2, 754-759 (2010).

CODIFICACIÓN DE VOCALIZACIONES DE AVES

EN FORMATO BIDIMENSIONAL QR

David Parra Puente
davidparrapuente@hotmail.com
Pontificia Universidad Católica

Hugo Jácome Andrade
hugo.jacome.andrade@gmail.com
Universidad de las Américas

2011
Quito - Ecuador

Recepción, aceptación y versión final:
Abril / 2011
SONAC, pp. 41-53



Resumen

El presente trabajo responde a la necesidad de describir objetivamente los cantos de aves en publicaciones científicas y guías de campo. Sin embargo, puede extenderse también al estudio de otros animales como mamíferos marinos, murciélagos, humanos e insectos. El proyecto consiste en el desarrollo de una aplicación informática mediante el lenguaje Max/MSP, que desde una señal de audio extraiga coeficientes que logren caracterizarla, dichos coeficientes son codificados mediante la herramienta QR (Quick Response Barcode), creado por la compañía japonesa Denso-Wave en 1994. La siguiente etapa del proyecto, que se encuentra en desarrollo, es la programación de la aplicación decodificadora, que reconstruya la señal de audio a partir de aquellos coeficientes, para nuevamente tenerla en el dominio de la audición humana en un computador, como etapa final del proyecto se desarrollará conjuntamente una aplicación similar y con los mismos propósitos para teléfonos móviles con la herramienta de lectura QR incorporada.

Palabras Clave: Quick Response Barcode (QR), identificación de sonidos de aves.

Abstract

This work responds to the necessity to objectively describe bird's songs in scientific publications and field guides. Nevertheless, it can also be

extended to the study of other animal like marine mammals, bats, humans and insects. The project consists on a computer application development in Max/MSP language, that extracts coefficients from an audio signal, those coefficients will characterize the signal, and are codified by QR tool (Quick Response Barcode), created by the japanese company Denso-Wave in 1994. The following stage of the project, that is in developing process, is the programming of the de-codifier application, that rebuild the audio signal from those numbers, to bring back the signal to the human hearing field, as final stage of the project, it will be developed a similar application with the same intentions for mobile phones with the built-in QR reading tool.

Keywords: Quick Response Barcode (QR), birds sounds identification.

Antecedentes

La necesidad de desarrollar sistemas estandarizados de codificación de señales sonoras apareció en una etapa temprana de las sociedades humanas. Al fijar estas señales en un medio perdurable (como piedra, papel o arcilla) se convierten en información disponible para cualquier persona que sepa cómo decodificarla. El ejemplo más evidente es la invención de la escritura, que apareció independientemente en varios lugares del mundo como Egipto, Mesopotamia, China, Mesoamérica, Perú y Oceanía. El siguiente paso fue el desarrollo del pentagrama, a partir del s. XII, que permitió un desarrollo explosivo en la música occidental. El estudio de las señales sonoras animales, conocido como bioacústica, también experimentó un rápido crecimiento desde la aparición de los medios electrónicos de análisis de sonidos. Luego de un modesto avance con la llegada del osciloscopio en los años 30, los medios informáticos representaron un verdadero apogeo para esta joven ciencia.

El ejemplo más evidente es la invención de la escritura, que apareció independientemente en varios lugares del mundo como Egipto, Mesopotamia, China, Mesoamérica, Perú y Oceanía.



Figura 1. *Portadas de las guías de campo "The Birds of Ecuador", Greenfield Paul, Ridgely Robert, The Birds of Ecuador, 2007.*

Actualmente existe una amplia oferta de software para análisis de sonidos en constante evolución. Sin embargo, todos se basan en el uso de formas de onda, espectrogramas y sonogramas. De estos, el espectrograma es el más usado en publicaciones científicas porque permite observar la intensidad, tono y duración de las notas que componen la señal descrita. Existe otra tradición relacionada a las señales sonoras de origen animal donde se presentó la necesidad de fijarlas en papel. La observación de aves es una actividad recreativa que busca el contacto con las aves únicamente por motivos estéticos y de placer (sin interés utilitario). Sus inicios se remontan a fines del s. XVIII, pero se consolida a finales del s. XIX con la inclusión de un interés conservacionista que lleva a la creación de sociedades protectoras de las aves en EEUU (Audubon Society) y Gran Bretaña (Royal Society for the Protection of Birds).

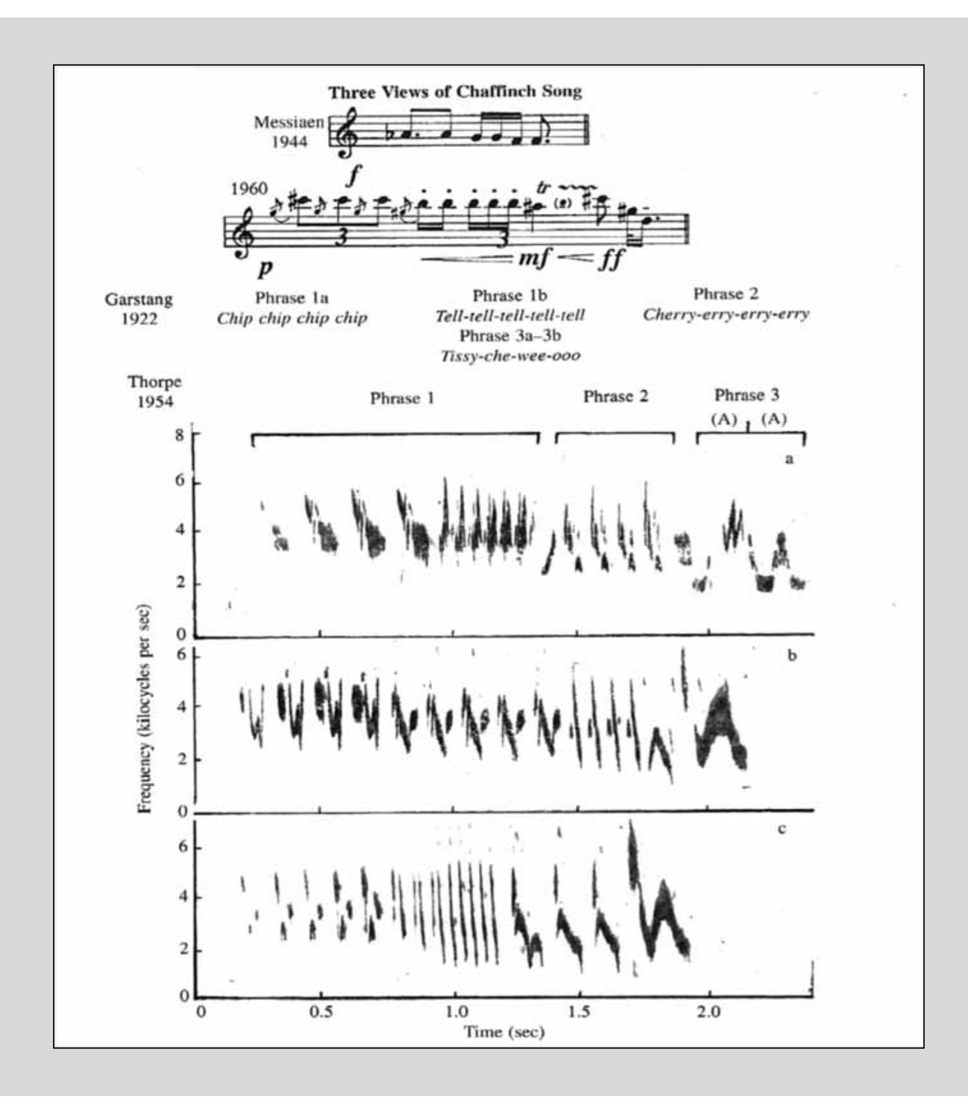


Figura 2. *Distintas maneras de caracterizar el canto de un ave, bajo el sistema de pentagrama y de espectrograma. Marler, P. y Slabbekoorn, H. (editores) (2004) Nature's Music -- The Science of Birdsong, Elsevier.*

Las vocalizaciones de las aves son una clave importante, y a veces la única, para su identificación. Tanto en publicaciones científicas como en guías; para observadores aficionados se usan onomatopeyas (como pío-pío) para describirlas. Aunque a veces estas transcripciones alfabéticas proporcionan una idea ligeramente cercana del sonido en cuestión, son subjetivas y poco precisas.

En varias ocasiones se ha propuesto usar notación musical para describir las vocalizaciones de las aves de manera objetiva y estandarizada. El compositor francés Olivier Messiaen realizó algunas excelentes transcripciones. Sin embargo, él mismo señaló que usualmente el tempo es tan rápido y el registro tan alto que tuvo que reducirlos a tempos más cortos y bajar el tono en varias octavas, perdiendo muchas características en el proceso (Marler y Slabbekoorn, 2004). Lo mismo fue señalado por Barrington, quien además notó que los intervalos espectrales usados por las aves son tan diminutos que se pierde mucho al describirlos con los tonos y semitonos de la octava musical (Marler y Slabbekoorn, 2004). Una limitación adicional es el hecho de que la notación musical requiere un conocimiento previo considerable. En la práctica muy pocos ornitólogos y aficionados de las aves son, además, músicos. Por lo tanto, a pesar de que es mucho menos precisa, la transcripción alfabética sigue siendo la más usada.

En publicaciones científicas este problema se resuelve con el uso de sonogramas, donde se puede observar claramente las notas que componen la señal. Se trata de gráficos de coordenadas donde el eje horizontal representa el tiempo y el vertical la frecuencia. Adicionalmente, la intensidad sonora corresponde al color o grado de pigmentación. De esta manera se puede analizar objetivamente las características de la señal. Sin embargo, hasta un científico experimentado en el uso de sonogramas difícilmente podría silbar el canto de un ave representado de esta manera.

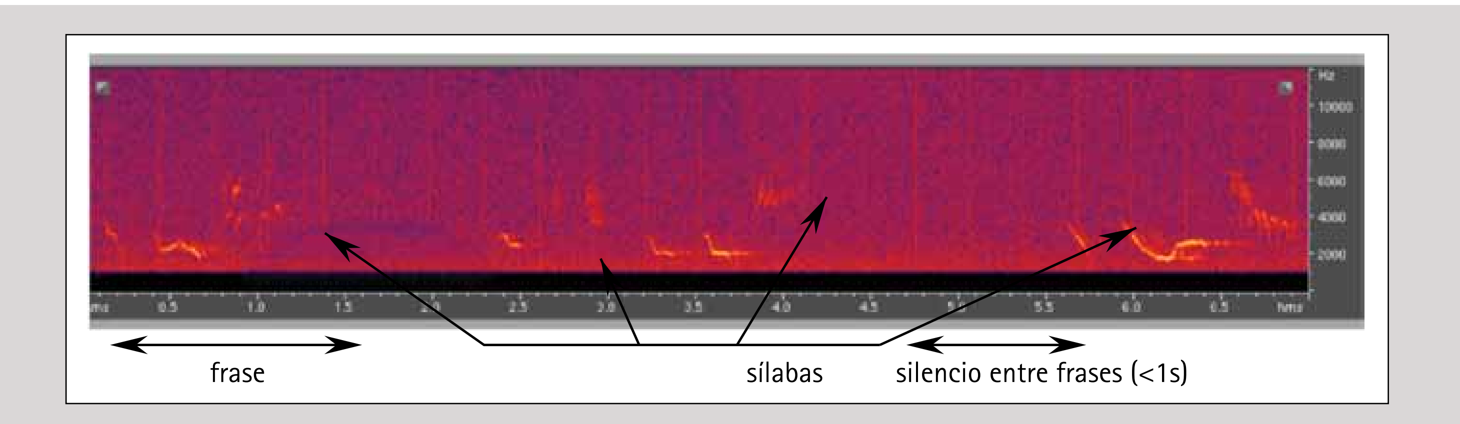
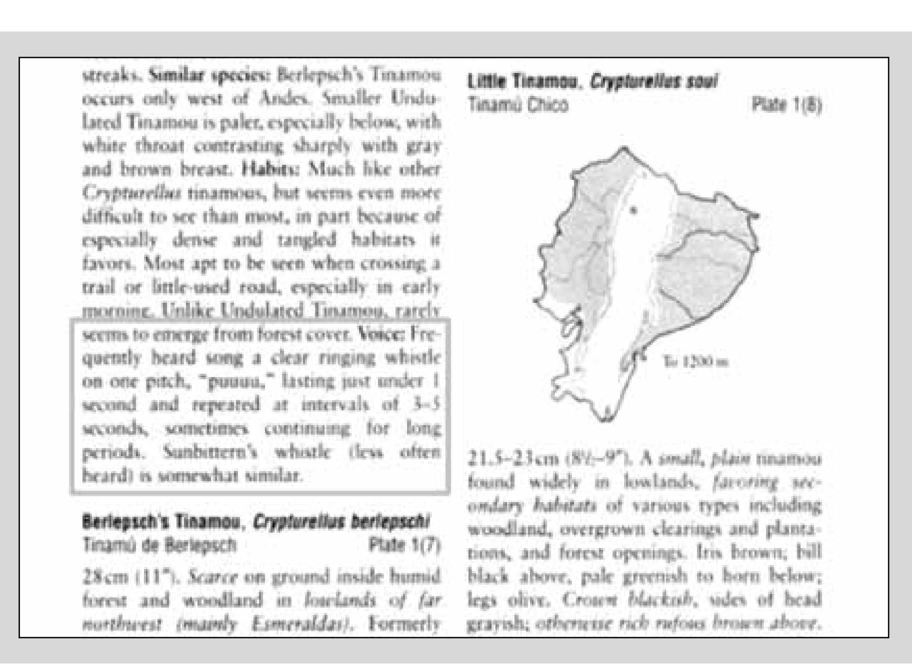


Figura 3. *Fragmento de un canto con sus partes. Sonograma realizado con el software Adobe Audition 3.0, David Parra, 2009.*

Sin embargo, ni onomatopeyas, ni espectrogramas cumplen satisfactoriamente con la misión de transmitir al lector una idea clara de cómo se escucha la señal que se está describiendo. Un científico experimentado podría entender muchas características de un canto representado en un espectrograma, pero difícilmente podría silbarlo.

De la misma manera, un observador experimentado (aficionado o científico) al escuchar un canto nuevo en el campo puede distinguir a qué grupo pertenece y buscar en su guía las onomatopeyas de los principales sospechosos, pero muy difícilmente llegará a identificar al emisor sin tener que recurrir a una grabación de audio.



streaks. **Similar species:** Berlepsch's Tinamou occurs only west of Andes. Smaller Undulated Tinamou is paler, especially below, with white throat contrasting sharply with gray and brown breast. **Habits:** Much like other *Crypturellus* tinamous, but seems even more difficult to see than most, in part because of especially dense and tangled habitats it favors. Most apt to be seen when crossing a trail or little-used road, especially in early morning. Unlike Undulated Tinamou, rarely seems to emerge from forest cover. **Voice:** Frequently heard song a clear ringing whistle on one pitch, "puuuu," lasting just under 1 second and repeated at intervals of 3–5 seconds, sometimes continuing for long periods. Sunbittern's whistle (less often heard) is somewhat similar.

Berlepsch's Tinamou, *Crypturellus berlepschi*
Tinamú de Berlepsch Plate 1(7)

28cm (11"). *Scarce* on ground inside humid forest and woodland in *lowlands of far northwest (mainly Esmeraldas)*. Formerly

Little Tinamou, *Crypturellus soui*
Tinamú Chico Plate 1(8)

21.5–23cm (8½–9"). A *small, plain* tinamou found widely in lowlands, *favoring secondary habitats* of various types including woodland, overgrown clearings and plantations, and forest openings. Iris brown; bill black above, pale greenish to horn below; legs olive. *Crown blackish*, sides of head grayish; *otherwise rich rufous brown above*.

Figura 4. *Ejemplo tomado del libro Aves del Ecuador sobre la descripción real de un canto, usando onomatopeyas y descripciones similares de tiempo y patrones de repetición, al leer la descripción sigue siendo muy difícil imaginar las características exactas del canto del ave. Aves del Ecuador, 2007.*

El presente proyecto consiste en un software que procesa las señales y las codifica en una secuencia numérica que genera un código de barras bidimensional conocido como código QR. Este es un formato ampliamente usado en la actualidad, que puede ser decodificado por un lector de barras e incluso por un teléfono celular "smartphone", que cuente con el algoritmo para extraer la información a partir de una imagen JPG o formatos similares que sea capaz de manejar por medio de su propia cámara fotográfica incorporada.

Este es un formato ampliamente usado en la actualidad, que puede ser decodificado por un lector de barras e incluso por un teléfono celular "smartphone"



Figura 5. *Ejemplo de código QR con información codificada (aquí una dirección específica de la página YouTube), con teléfonos celulares el procedimiento consiste en obtener la aplicación de lectura QR gratuitamente del Internet según el modelo de dispositivo (barcode application), y con la cámara incorporada detectar la información para que sea procesada y presentada al usuario. Generador KAYWA QR online, 2011.*

…el sistema tiene un gran potencial para convertirse en un medio estandarizado para la descripción de señales sonoras en publicaciones científicas…

De esta manera el canto de un ave podría ser incluido en una guía de campo o catálogo como un código QR de unos pocos centímetros cuadrados (cm^2) de superficie, junto con la descripción y el gráfico de la especie. Para leerlo, el usuario solo tendría que pasar un lector electrónico portátil sobre el código y escuchar el sonido. Esto facilitaría el trabajo de identificación para científicos y aficionados que actualmente, además de libros, deben llevar al campo equipo de audio para poder reconocer las aves que escuchan por primera vez. Por lo tanto, el sistema tiene un gran potencial para convertirse en un medio estandarizado para la descripción de señales sonoras en publicaciones científicas, educativas, divulgativas y turísticas.

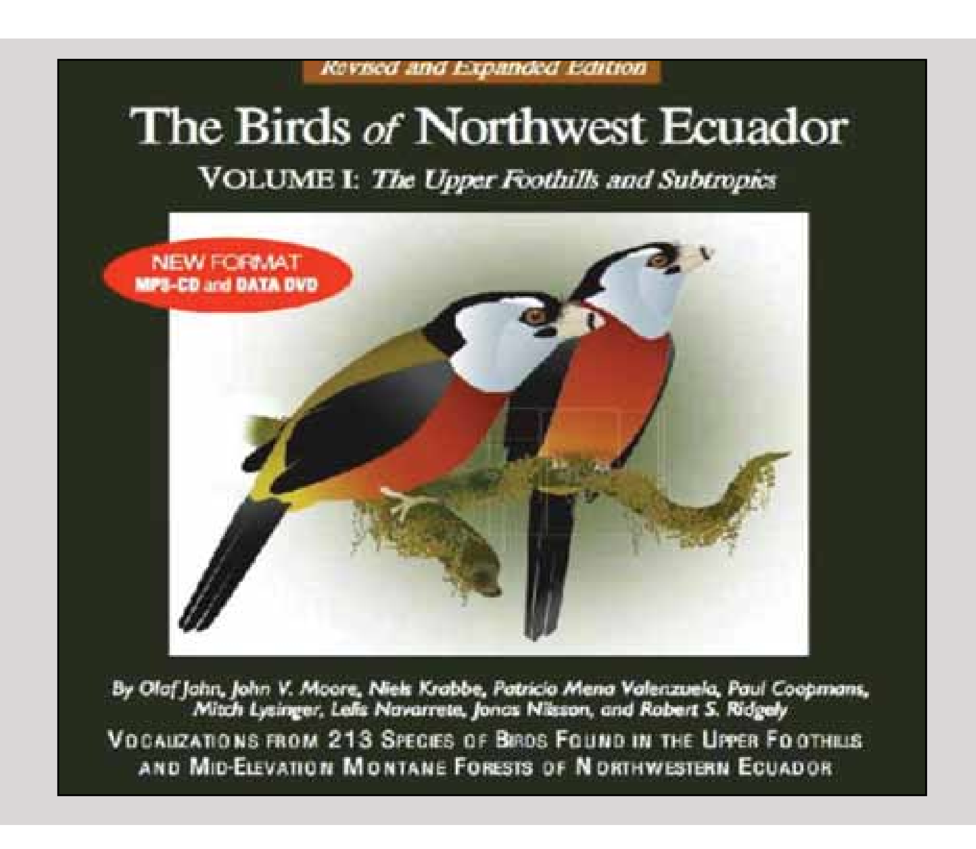


Figura 6. *Portada de una edición digital con vocalizaciones en formato MP3 para interesados en la ornitología y sus sonidos. Olaf, Moore, Krabbe, Valenzuela, Coopmans, Lysinger, Navarrete, Nilsson, Ridgely, The Birds of Northwest Ecuador, Volume 1, 2008.*

El mercado potencial de usuarios para este sistema es realmente considerable, la bioacústica es una ciencia joven que ha tenido un importante crecimiento desde la década de los 60s, con la aparición de medios electrónicos de análisis de sonidos (Marler y Slabbekoorn, 2004). Según una recopilación realizada por Hansen (2006), en sólo un año se publicaron cerca de 1700 trabajos sobre bioacústica (entre 2005 y 2006). Existen además, varios laboratorios y librerías de sonidos de relevancia internacional que constantemente requieren un medio para almacenar y publicar archivos de sonido.

Por otro lado, el aviturismo es uno de los segmentos turísticos de mayor crecimiento, con una tendencia a fortalecerse en los próximos 10 años (Acorn Consulting Partnership Ltd., 2008; Mindo Cloudforest Foundation, 2006). Es la actividad al aire libre con mayor crecimiento de América (Acorn Consulting Partnership Ltd., 2008) y sólo en EEUU mueve más de 32 000 millones USD y genera 863 406 puestos de trabajo (US Fish & Wildlife Service, 2001; Mindo Cloudforest Foundation, 2006).

A esto se puede agregar como usuarios potenciales a los cientos de miembros del Consejo Internacional de Bioacústica (IBAC, por sus siglas en inglés), a las decenas de revistas y editoriales especializadas en el tema y a los miles de científicos que se dedican al estudio de la bioacústica en aves, insectos, cetáceos, murciélagos y humanos.

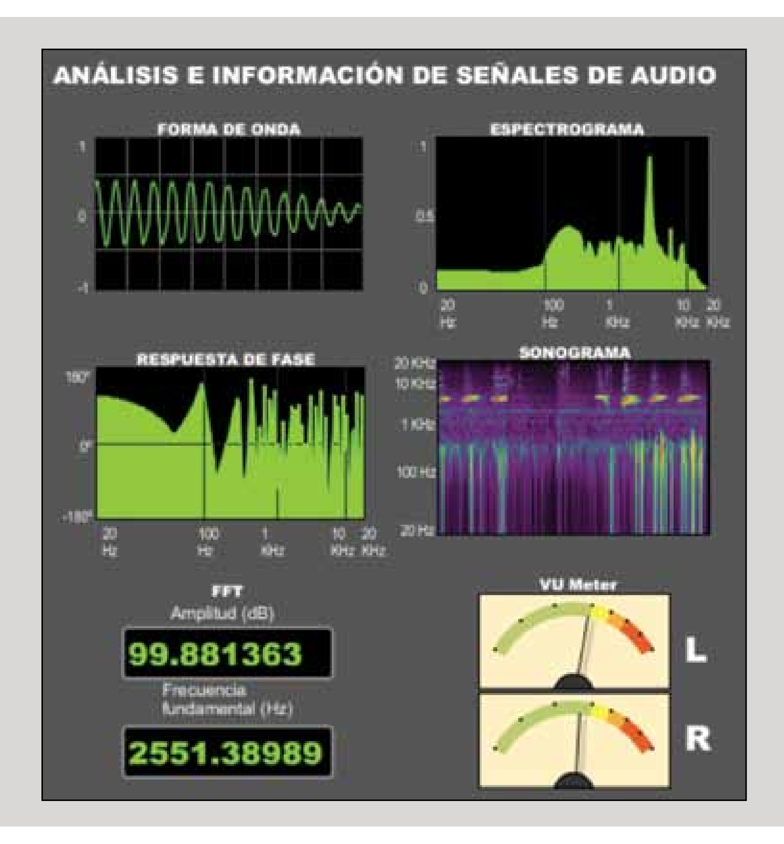


Figura 7. *Ejemplo de una sección de interfaz de usuario donde se puede observar distintas herramientas de análisis gráfico-visual de una señal de entrada en tiempo real. Hugo Jácome, Aplicación "Prototipo ASA CANCUN 2010", año 2010.*

La hipótesis consiste en construir una aplicación codificadora/decodificadora que pueda manejar datos de audio como coeficientes para luego reconstruirlos con el objetivo de usar un código de barras que ayude al trabajo de identificación de especies en campos como la ornitología. Una señal de audio ingresa al software mediante el micrófono incorporado de un computador, un micrófono de mayor prestaciones externo y/o la carga de archivos.

Esta señal es sometida a filtros varios con el objetivo de limitar la información que se va a utilizar de ella, un análisis espectral profundo por medio de un cálculo de FFT es usado para comparar la señal original y la señal filtrada, los resultados de este análisis también pueden ser observados en distintas pantallas virtuales que contienen información de forma de onda, espectrogramas, sonogramas y gráficas de respuesta de fase.

Lo ideal del proceso de filtrado, cuyos parámetros el usuario puede escoger, será que, producto de la comparación en gráficas de información de espectro, se observe la similitud de la señal en cuanto a contenido de

frecuencias y amplitud de las mismas, el objetivo principal del proceso de filtrado es eliminar información que esté por encima o debajo del rango de frecuencias útil de la señal que se esté utilizando.

Una vez que la señal ha sido sometida al proceso de filtrado, se realiza la extracción de coeficientes, cabe señalar que la gran mayoría de cantos de aves pueden ser perfectamente caracterizados en un tiempo de unos cuatro segundos, por lo que se usa señales con un promedio de 5 segundos de duración. Los coeficientes son extraídos mediante un proceso que permite ingresarlos dentro de un proceso de codificación QR.

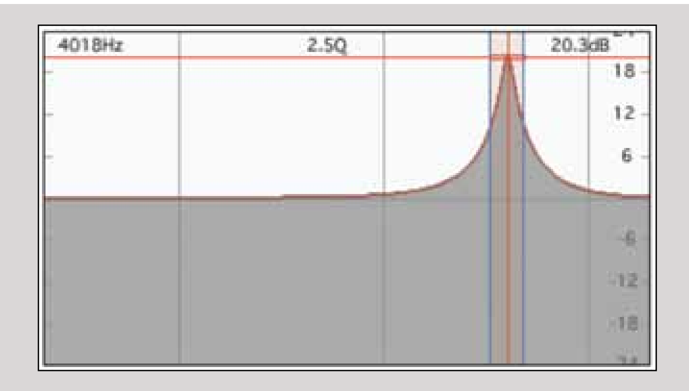


Figura 8. *Ejemplo de un objeto tipo filtergraph~ de Max/MSP que permite realizar el proceso de filtrado de la señal. Patcher de Max/MSP.*

Este código permite imprimir, en este caso, los coeficientes extraídos de la señal sonora en un papel, en una pantalla o cualquier medio de presentación de información, el siguiente paso a la obtención e impresión del código es la reconstrucción de la señal para que vuelva a ser audible a partir de un proceso de ordenamiento de coeficientes y su colocación en un diagrama amplitud-tiempo para poder ser nuevamente interpretados como una señal audible, lo más idéntica posible a la señal original pero que durante ese proceso de codificación ocupó una fracción del tamaño en bytes para poder ser introducida en un código QR que presenta limitaciones de tamaño para incluir información.

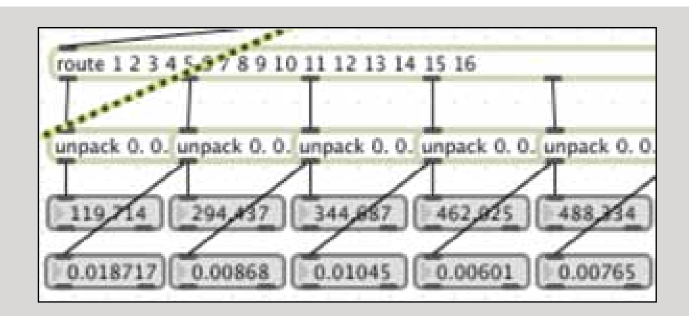


Figura 9. *Ejemplo de una etapa de extracción de información numérica en tiempo real de una señal de audio. Hugo Jácome, Aplicación "Prototipo ASA CANCUN 2010", año 2010.*

Las fases finales de este prototipo en desarrollo, consisten en construir una aplicación para telefonía móvil que pueda interpretar un código QR y transformarlo en una secuencia de datos para construir una onda audible con la información original del canto del ave, incluir este proceso en algunos textos como los tomados como referencia para este trabajo, catálogos que contienen las especies de aves de un país como el Ecuador, tan rico en biodiversidad.

Resultados

Una de las partes imprescindibles del programa es la codificación de los sonidos de cantos mediante la extracción de coeficientes a las señales de audio, esto se lo hace mediante un proceso de de-construcción de la señal para posteriormente reconstruirla. A continuación un ejemplo de una señal reducida a coeficientes y su representación en código QR:

La siguiente secuencia numérica corresponde a una grabación realizada en Yanayacu-Ecuador, 2010, por Janice Jácome Andrade y el curso de Neuroetología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, la señal está representada en el siguiente código numérico y su correspondiente codificación QR:

-0.027	0.012	-0.022	0.011
-0.018	0.005	-0.030	-0.010
-0.013	-0.015	-0.022	-0.058
-0.015	-0.034	-0.027	-0.005
-0.007	-0.006	0.008	0.008
-0.015	-0.013	0.021	-0.043
-0.022	-0.036	-0.019	-0.024
0.009	-0.024	-0.014	0.022
-0.022	-0.005	0.012	



Figura 10. *Ejemplo de un fragmento muy pequeño de una señal reducida a coeficientes y su equivalencia en código QR. Hugo Jácome, Max/MSP Patcher, año 2010.*

Es importante acotar la necesidad de la limitación de las señales estrictamente a los anchos de banda que ocupa, debido a que el exceso de información hará que espacio vital para información útil sea utilizado por datos innecesarios.

Con estos resultados, la posibilidad de la equivalencia entre información de texto y códigos gráficos bidimensionales hace posible la proyección hacia aplicaciones más extensas y de mayor alcance en cuanto a codificación e inclusión de información en formatos de lectura poco tradicionales. Es importante acotar la necesidad de la limitación de las señales estrictamente a los anchos de banda que ocupa, debido a que el exceso de información hará que espacio vital para información útil sea utilizado por datos innecesarios. Al analizar los resultados de la equivalencia entre una secuencia numérica y una codificación bidimensional se observa que el proceso no sirve únicamente para señales de audio, sino para ingresar cualquier información de distinta índole. Los resultados en este caso corresponden a una codificación realizada en un generador de códigos QR disponible en el Internet, el siguiente paso es la construcción de la aplicación para dispositivos móviles que realice el mismo trabajo.

Conclusiones

Conclusión General

- El programa resultante de este proceso fue capaz de manejar señales de audio y de obtener luego de un proceso de filtrado, los coeficientes necesarios para caracterizar una onda, en este caso del canto de un ave. Dichos coeficientes al ser codificados en código QR pueden ser impresos, o presentados bajo cualquier forma visual posible con el objetivo de presentar la información a algún dispositivo que sea capaz de decodificar la información contenida en el QR. La etapa de construcción de una aplicación para teléfonos móviles que transforme coeficientes a sonido es el próximo paso para que el proyecto resulte completo en su visión original, destinada a la industria del aviturismo.

Conclusiones específicas

- La industria del aviturismo, en constante crecimiento puede ver solucionado un problema de dificultad para identificar cantos de aves mediante los métodos tradicionales de descripción de sonidos. Al tener una aplicación que maneje esos datos de forma que el usuario final pueda escuchar los sonidos se concluye la enorme utilidad que puede tener no sólo en el aspecto ornitológico sino en toda la biología y en muchos otros campos de potencial aplicación.
- El código QR es una herramienta que guarda cantidades limitadas de información, por lo tanto es muy importante que el usuario defina el nivel de filtrado a aplicar a la señal y definir también modificar de acuerdo a las necesidades los parámetros de frecuencia de muestreo, profundidad de bits, entre otras opciones que este software construido en Max/MSP permite modificar.

- Las señales de cantos de aves requieren de muy pocos segundos para ser analizadas por completo, la gran mayoría son secuencias repetitivas de una sola "frase" del ave, por lo cual se ha manejado un máximo de 5 segundos para estas señales.
- La frecuencia de muestreo y la profundidad de bits necesarias deben ser establecidas con criterio, ya que ello permitirá que se optimice el espacio de la información, para algunos cantos existe un reducido rango dinámico y un estrecho intervalo de frecuencias donde suceden los cantos, aspectos muy importantes a tomar en cuenta por medio de las herramientas de análisis y comparación de las señales, original y filtrada.
- Uno de los aspectos más influyentes en el potencial éxito de este prototipo es la portabilidad del mismo al estar dentro de un teléfono móvil y el hecho de que la compañía japonesa Denso-Wave no ejerce sus derechos sobre la patente del código, por lo que es gratuito y cualquier celular puede obtener el algoritmo para decodificar, a partir de una imagen tomada por su cámara incorporada, la información contenida en el código QR.
- El proceso de extracción de coeficientes obedece a un proceso que ocupa recursos importantes de un computador, por lo que la programación debe ser realizada en un computador de relativo buen desempeño y capacidad de procesamiento.
- Sin embargo, el funcionamiento de la aplicación stand-alone para ambos sistemas operativos (.exe para Microsoft Windows y .app para Apple OSX), no requiere de grandes recursos de procesamiento por lo que puede trabajar en relativamente cualquier computador.
- La rapidez de la extracción de coeficientes, así como su codificación/decodificación a código QR y la posterior re-construcción de la señal verá su desempeño afectado también por la cantidad de memoria disponible del computador, en el caso de señales muy extensas se podría realizar una cadena de procesos que manejen grandes cantidades de datos.

Referencias

[1] Polhmann, Ken, Principles of Digital Audio, Cuarta Edition, McGraw-Hill, 2000, Pág.: 1 - 13, 21 - 30.

[2] Miyara, Federico, Acústica y Sistemas de Sonido, Tercera Edición, Editora de la Universidad Nacional de Rosario, 2003, Pág.: 1 - 43, 62 - 70, 163 - 173.

[3] Dobrian, Chris, Zicarelli, David, Taylor, Gregory, Bernstein, Jeremy, Schabtach, Adam, Dudas, Richard, Dubois, Luke, Grosse, Darwin, Nevile, Ben, Clayton, Joshua, Hart, Lilli, Max Tutorials and Topics.pdf, Cycling '74/IRCAM, (l'Institut de Recherche et Coördination Acoustique/Musique), 2004, 09/05/2009.

[4] Dobrian, Chris, Zicarelli, David, Taylor, Gregory, Bernstein, Jeremy, Schabtach, Adam, Dudas, Richard, Dubois, Luke, Grosse, Darwin, Nevile, Ben, Clayton, Joshua, Hart, Lilli, Pask Andrew, Msp Tutorials and Topics.pdf, Cycling '74/IRCAM, (l'Institut de Recherche et Coördination Acoustique/Musique), 2004, 10/05/2009.

[5] Elsea, Peter, BasicMSP.pdf, Universidad de California, 2007, 10/05/2009.

[6] Elsea, Peter, FourierNotes06.pdf, Universidad de California, 2007, 10/05/2009.

[7] Elsea, Peter, MAX intro 2009.pdf, Universidad de California, 2009, 10/05/2009.

[8] Marler, P., Slabbekoorn, H., Nature's Music -- The Science of Birdsong, (editores), Elsevier, 2004.

Mejor Sonido

AMERICAN AUDIO
ADJ
American DJ
audio-technica
AHEAD DRUMSTICKS
Best Sound
Big Dipper
CAMCO
DEAN GUITARS
dB TECHNOLOGIES
ddrum
DiGiCo
ELATION PROFESSIONAL
EVANS
RapcoHorizon COMPANY



























DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TUBO DE IMPEDANCIA, PARA LA EVALUACIÓN DE LA ABSORCIÓN SONORA DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Gustavo Navas
gusbaq@gmail.com

Nelson Santander
sknel_bat@hotmail.com

Universidad de las Américas
2011
Quito - Ecuador



Recepción, aceptación y versión final:
Abril / 2011
SONAC, pp. 55-65

Resumen

Esta investigación describe la realización de un tubo de impedancia acústica para determinar el coeficiente de absorción de materiales mediante el método de función de transferencia, utilizando como base las normativas ASTM E1050 y la ISO 10534-2. Se realizó el diseño y construcción del tubo considerando las mejores opciones en cuanto a su funcionalidad y costo, logrando un rango efectivo entre los 90 Hz y los 5600 Hz. Se utilizó una técnica denominada de "dos micrófonos" la misma que ofrece resultados en corto tiempo y es de implementación sencilla. Adicionalmente se desarrolló un software utilizando el programa "LabView" para realizar la medición. Se analizó el coeficiente de absorción de varios materiales utilizados en el acondicionamiento acústico, con resultados coherentes según las bases teóricas, además muy cercanos a los valores entregados por el fabricante y a modelos matemáticos realizados en el programa Zorba.

Palabras Clave: Tubo de impedancia, materiales acústicos, mediciones.

Abstract

This research describes the execution of an acoustic impedance tube

to determine the absorption coefficient of materials using the transfer function method. The standards ASTM E1050 and ISO 10534-2 were used. The design and construction of the pipe were performed considering the best options in terms of functionality and cost. The functional range is from 90 to 5600 Hz. The technique used is called "two microphones". It gives results in a short time and the implementation is simple. Additionally, software for measurement was developed using the program "LabView". The absorption coefficient of materials used in the acoustic treatment was analyzed. The results were consistent with theoretical basis, and they were close to the values provided by the manufacturer and mathematical models made in the software Zorba.

Keywords: Acoustic impedance tube, materials, measurements.

Antecedentes

Otro método es la denominada función de transferencia,la cual consiste en un modelo matemático que utiliza un tubo de impedancia acústica…

Actualmente, con el desarrollo de la acústica en la construcción y en la industria en el país, es necesario responder a la falta de información técnica en el área acústica, de productos y materiales existentes en el Ecuador para poder lograr diseños efectivos, permitiendo garantizar los resultados.

Cabe destacar que existen varios métodos para realizar mediciones de las propiedades acústicas para el estudio de materiales, siendo la más conocida la cámara reverberante, dicho método es uno de los más efectivos, pero con un alto costo asociado a su construcción. Otro método es la denominada función de transferencia, la cual consiste en un modelo matemático que utiliza un tubo de impedancia acústica, con este método los costos son más bajos y sus resultados son altamente fiables.

La presente investigación se centra en el uso del método mencionado, enfocado a la medición de la absorción y la impedancia acústica, las cuales son características muy importantes para el diseño acústico. Es un método que permite realizar investigación y desarrollo de materiales ya que requiere de muestras pequeñas. Además se podría realizar una ampliación de este sistema incorporando la medición de otras propiedades acústicas como, por ejemplo, el coeficiente de transmisión sonora.

Desarrollo

El método a ser implementado se basa en la generación de ondas planas[1] en el interior de un tubo, dadas por la emisión de una señal acústica aleatoria y uniforme de banda ancha (ej. ruido blanco) que genera un driver de compresión localizado a un extremo del tubo. Al otro

1. Constituyen una de las propagaciones sonoras más simples y elementales que poseen únicamente una coordenada espacial.

extremo se ubica una muestra del material a ser evaluado, colocado en el dispositivo de soporte de la muestra (porta muestra). Un émbolo rígido con una profundidad ajustable se coloca detrás de la muestra para proporcionar una superficie rígida y reflectante. Un par de micrófonos se montan al ras de la pared interior del tubo, colocados a una cierta distancia de la muestra. Ver Fig.2.

Para lograr fácilmente un campo sonoro de ondas planas es necesario guiar el sonido en una sola dimensión continua, lo cual puede ser logrado a través de un tubo rígido. El rango de frecuencias donde se puede esperar resultados confiables depende del diámetro del tubo y de la posición de los micrófonos. Se puede lograr un rango amplio de frecuencias mediante la combinación de varias posiciones de micrófono, para luego solapar los resultados en una única tabla. La onda incidente generada viajará desde el altavoz a la muestra donde dependiendo del material y su montaje en el porta muestras, éste reflejará a la onda incidente. Ver Fig.1.

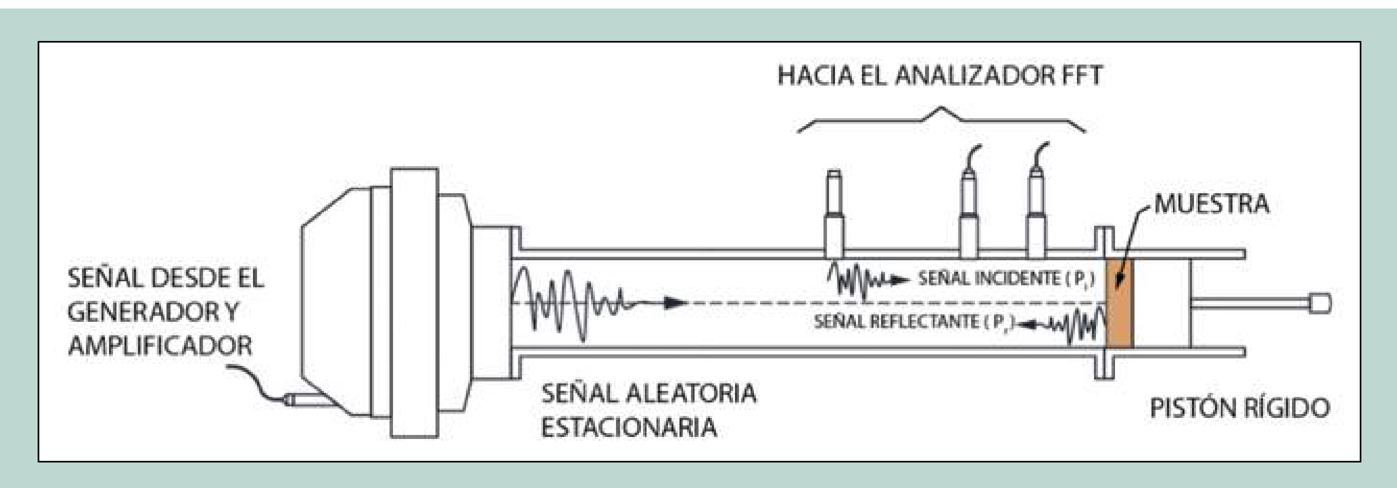


Figura 1. *Funcionamiento tubo de impedancia.*

Para realizar el método de medición de la función de transferencia es necesario tener dos localizaciones (micrófonos) cerca de la muestra. Las mediciones simultáneas de presión sonora provenientes de dichos lugares serán las usadas para determinar y calcular el factor de reflexión complejo en incidencia normal[2], el cual se obtiene gracias a la descomposición de los patrones de onda sonora estacionaria en los componentes de la onda incidente y reflejada. Consecuentemente se computará la impedancia superficial del material y el coeficiente de absorción a incidencia normal. El resultado obtenido de la medición es dependiente de la frecuencia, y de la resolución del sistema.

Se desarrolló un software específico el mismo que es utilizado para obtener la función de transferencia (función de la respuesta de frecuencia) entre los micrófonos. En esta medición el micrófono más cercano (Mic.

2. A 0º, perpendicular a la muestra.

A la fuente es el canal de referencia. Desde la función de transferencia H_{12}, la presión del coeficiente de reflexión compleja del material es determinado con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{H_{12} - e^{-jks}}{e^{jks} - H_{12}} e^{j2k(L+s)}$$

Donde
L = Distancia entre la cara de la muestra y el primer micrófono [m].
S = Separación entre micrófonos [m].
k = 2ϖf /c, donde f es la frecuencia y c es la velocidad del sonido.

Desde el coeficiente de reflexión, el coeficiente absorción α y la impedancia normalizada (Z/ρ0c) de la muestra pueden determinarse a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = 1 - |R|^2$$

$$\frac{Z}{\rho_0 C} = \frac{1 + R}{1 - R}$$

Donde
Z = Impedancia acústica característica [Rayls].
ρ0c = Impedancia característica de aire [Rayls].

El material elegido para la construcción del tubo es acero inoxidable, el cual presenta una tolerancia de la sección transversal de ±0.057% / metro, además de poseer buena rigidez y densidad.

Diseño y construcción del tubo de impedancia

El tubo debe poseer una sección de área uniforme que no debe superar el ±0.2%, con paredes lisas, no porosas y sin fugas, para evitar ruido exterior o vibraciones que puedan influir en la precisión de los resultados. El material elegido para la construcción del tubo es acero inoxidable, el cual presenta una tolerancia de la sección transversal de ±0.057% /metro, además de poseer buena rigidez y densidad.

Los altavoces no producen ondas planas, por lo tanto el tubo tiene que ser lo suficientemente largo para permitir la aparición de dichas ondas, los puntos de medición deben estar localizados en el rango de las ondas

planas para lo cual debe existir un mínimo de 3 veces el diámetro (d) entre el tubo y el micrófono más cercano a la fuente. La frecuencia superior (f_u) de funcionamiento puede ser calculada por las condiciones:

$$d < 0.58\lambda_u \;=\; f_u d < 0.58\,C_o \quad ; \quad f_u s < 0.45\,C_o$$

Donde
λ_u = Longitud de onda superior [m].
C_0 = Velocidad del sonido [m/s].
s = Separación entre micrófonos [m].

El límite de la frecuencia más baja depende de la separación de los micrófonos y de la precisión del sistema de análisis, pero como guía general:

$$s > 5\%\ \lambda_l$$

Como se busca un rango de frecuencias lo suficientemente amplio, se optó por un diámetro pequeño del tubo (d=38.1mm e=2mm). El largo del tubo es de 1.3 metros y se consideran 4 posiciones de micrófonos (s) en el tubo con sistemas de montajes iguales, para obtener una mayor precisión en bajas frecuencias (ver Fig.2).

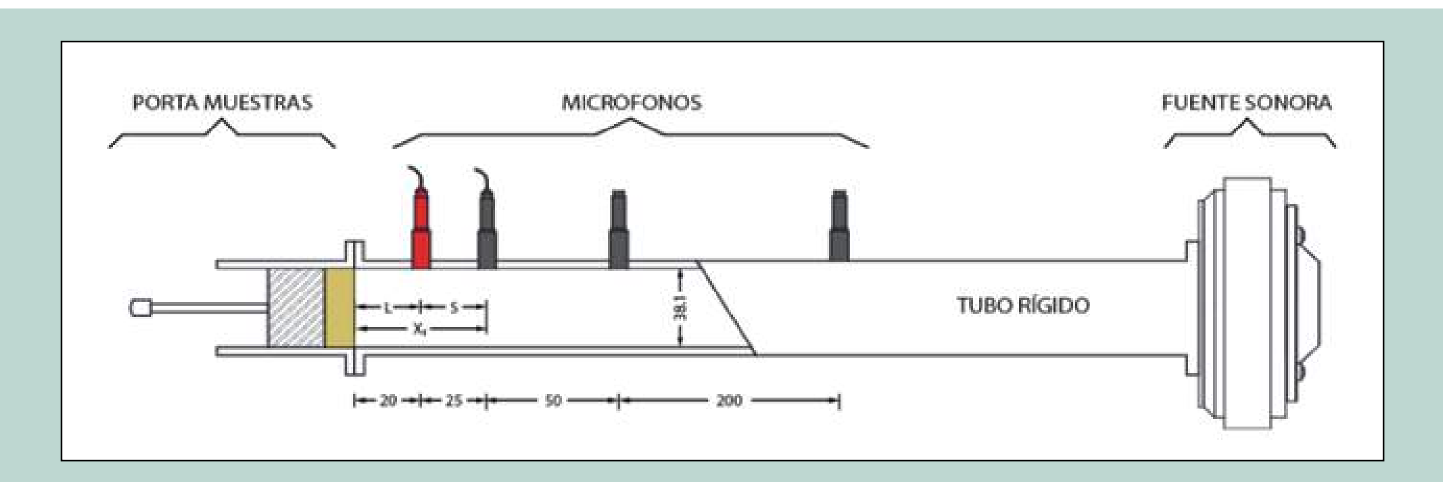


Figura 2. *Esquema del tubo de impedancia.*

Los micrófonos a ser utilizados deben tener un diámetro que sea lo suficientemente pequeño para evitar distorsiones, para lo cual se deben seguir las siguientes recomendaciones:

$$\phi_m < C_o/f_u \quad ; \quad \phi_m < 20\% \, s$$

Por esta razón se optó por el micrófono Beyerdinamic MM1 con un diámetro de 9mm, el cual además posee una curva plana en el rango de interés y soporta niveles de presión sonora de 128dB, para realizar mediciones a diferentes niveles sonoros y con una relación señal/ruido adecuada para lograr una muy buena precisión.

El porta muestras elaborado con el mismo material del tubo, se conecta a este mediante bridas soldadas y con un material elástico entre ellos. El largo del porta muestras es de 30 cm, y se determinó por el hecho de poseer una placa móvil de 20 mm de espesor (émbolo) y para tener espacio suficiente para poder realizar distintas pruebas con diversos espesores de material y/o cámaras de aire.

Se utilizó un driver de compresión acústica BMS 4550, que posee una buena respuesta de frecuencias, es decir una señal aceptable desde los 50 Hz hasta los 7000 Hz con una tolerancia de ±10dB. El altavoz escogido tiene un diafragma que cumple con la condición de que debe ser mayor a los 2/3 del diámetro del tubo. Adicionalmente se usa un computador como generador de señales para alimentar a dicho driver mediante un amplificador de potencia.

Para el sistema de procesamiento se utiliza una interfaz que realiza la conversión A/D de la señal, que posee un rango dinámico de 90 dB. Posteriormente se conecta a un computador donde los datos son recopilados, grabados, calculados y analizados mediante software para la entrega de los resultados deseados. Al trabajar en sistemas digitales el rango dinámico, la linealidad del sistema, la resolución y estabilidad del equipo superan los límites requeridos.

A continuación se presenta una tabla a modo de resumen de las distancias escogidas entre micrófonos (S) y el resto de sus características, como las frecuencias límite en las que funcionan y la distancia entre la muestra y el micrófono más lejano (X1).

Nombre	Descripción	Valor	X1[3]	Frec. min.	Frec. max.	Imagen
S1	Distancia de los micrófonos entre las posiciones 1 y 2	0.025 m	0.045 m	690 Hz	5600 Hz	
S2	Distancia de los micrófonos entre las posiciones 1 y 3	0.075 m	0.095 m	230 Hz	2000 Hz	
S3	Distancia de los micrófonos entre las posiciones 1 y 4	0.20 m	0.225 m	86 Hz	720 Hz	

Tabla 1. *Configuraciones y frecuencias límite para las mediciones*

3. A - B Distancia entre la muestra y el micrófono más lejano.

El sistema cuenta con los componentes descritos en la Fig.3, donde el computador, a través del software desarrollado realiza los procesos de generación de señal y análisis de la función de transferencia de las señales captadas por los micrófonos.

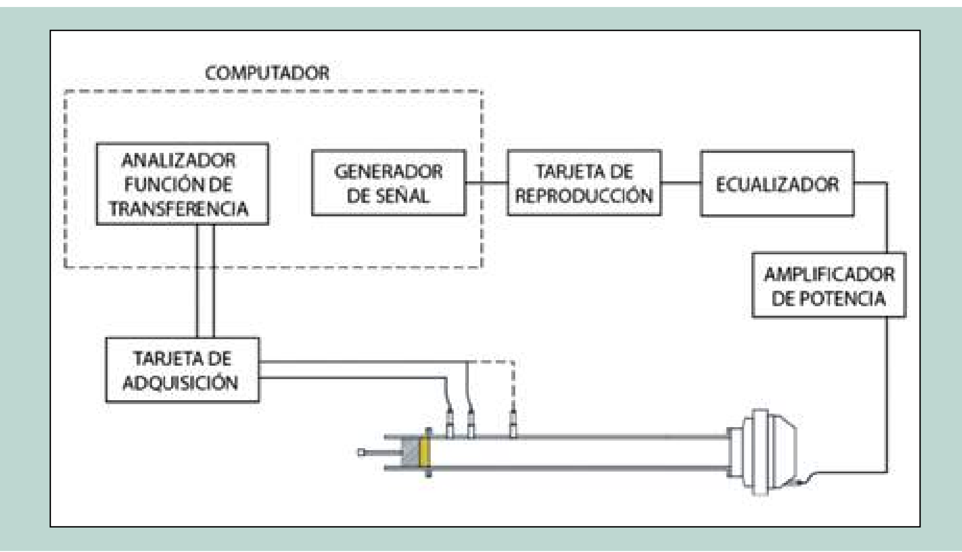


Figura 3. *Equipos e instrumentación.*

Diseño y programación del software

La diferencia entre los micrófonos debe ser menor a ±0.3 dB y el nivel calibrado y ajustado será menor al 1% con respecto al NPS de calibración escogido para que el programa permita continuar…

1era. Etapa._ Datos de entrada: Se refiere a la sección donde el usuario realiza la configuración básica para todos los procesos y cálculos posteriores. Se ingresarán los valores correspondientes a:

- Entorno: Temperatura, presión atmosférica (establece la velocidad del sonido y la densidad del aire para obtener la impedancia característica del aire).
- Geométricas: Longitud, diámetro del tubo y distancia entre los micrófonos.
- Dispositivo: Duración de la medición, sample rate.
- Calibración: Frecuencia de calibración,NPS de calibración.

2da. Etapa._ Calibración de micrófonos: Realiza una comparación con los datos ingresados y la señal obtenida de la tarjeta de adquisición realizando un FFT y ajuste de la sensibilidad por cada canal. La diferencia entre los micrófonos debe ser menor a ±0.3 dB y el nivel calibrado, y ajustado, será menor al 1% con respecto al NPS de calibración escogido para que el programa permita continuar, además es necesario que el error en la frecuencia de medición sea menor al 1%.

3era. Etapa._ Relación señal ruido: Ejecuta una comparación entre una medición del ruido de fondo dentro del tubo y señal emitida por el driver. Se recopila la información en cada canal, para lo cual se ocupa la FFT. Para este módulo la duración de la señal enviada al altavoz y la señal grabada es por defecto de 60 segundos con alrededor de 300 promedios para realizar el cálculo necesario y poder estabilizar la medición.

4ta. Etapa._ Calibración de la función de transferencia: Para evitar errores y realizar las correcciones se realiza la función de transferencia en la configuración A y B[4]. De esta manera se obtiene el factor de co-

4. Configuración A: Medición normal. Configuración B: Medición con micrófonos intercambiados.

rrección necesario para las mediciones. Para este módulo se ha utilizado la función de respuesta de frecuencia con la cual se obtiene la función de transferencia entre la señal de entrada y salida (Mic. A y B).

5ta. Etapa._ Medición: Se realiza la medición de las propiedades del material que son el coeficiente de reflexión, coeficiente de absorción, impedancia y admitancia acústica del material. Antes de efectuar la medición se deberá llenar las propiedades y características de dicho material.

6ta. Etapa._ Post procesamiento: Es la sección para realizar promedios entre las diferentes mediciones, dadas tanto por su repetición, como por la realización de solapamientos dados en las mediciones en diferentes configuraciones del tubo (diferentes distancias entre micrófonos). Se pueden hacer comparaciones y visualizar las diferentes mediciones.

7ma. Etapa._ Clasificación: Cataloga el material según la absorción sonora obtenida.

8va. Etapa._ Exportación: Brinda la posibilidad de enviar los datos medidos a una hoja de Excel para poder realizar: manejo y análisis de datos, realización de reportes, etc.

> Antes de efectuar la medición se deberá llenar las propiedades y características de dicho material.

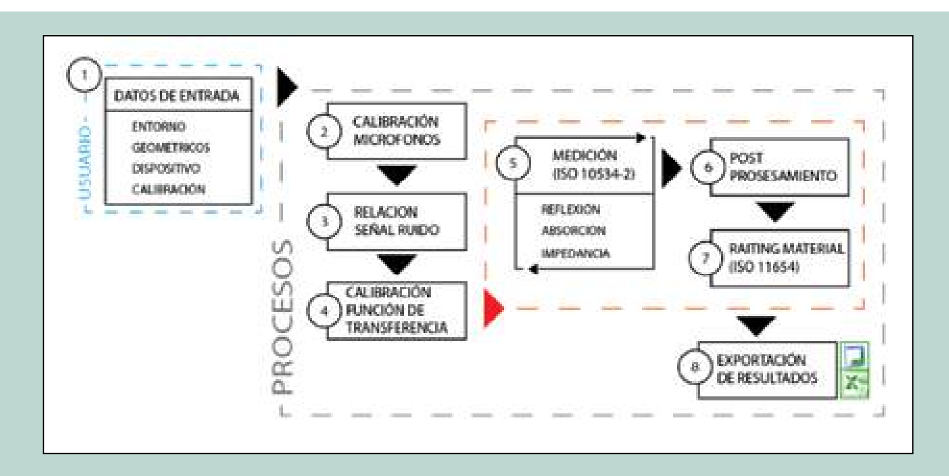


Figura 4. *Diagrama de bloques del software.*

Resultados

La coherencia obtenida está dentro de los límites (mayor a 0.9) con lo cual el error normalizado es menor al 1% y el error estándar se encuentra en 2.88%. Además la relación señal - ruido es de alrededor de 30 dB (mayor a 10 dB y sin superar los 60 dB entre el nivel más bajo y el más alto dentro del espectro); con lo cual el sistema cumple con la normativa. A continuación se muestran varias mediciones utilizando dos materiales con diferentes configuraciones.

El primer material analizado fue lana de vidrio de 70kg/m^3, con el cual se hicieron tres mediciones diferentes: la primera con un espesor de 1” (25mm) sin cámara de aire, la segunda del mismo espesor con una cámara de aire de 25mm (25mm + 25mm c.a.) y la tercera con un espesor de 3” (75mm) y sin cámara de aire. Los resultados de absorción obteni-

dos son los que normalmente se observan en este tipo de material (fibroso) al aumentar el espesor se aprecia una mayor absorción en bajas frecuencias y al poner una cámara de aire se incrementa la absorción en medias y bajas frecuencias (ver Fig.4).

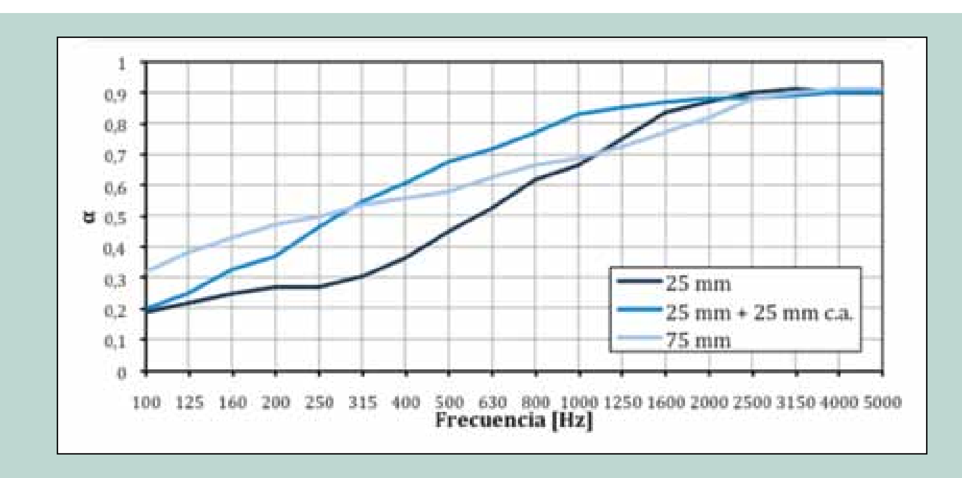


Figura 5. *Comparación entre las absorciones en 1/3 de octava con acusticfibra*

El segundo material medido fue Poliester de 1" de espesor con y sin cámara de aire. Este tipo de respuesta difiere de lo esperado, pero se presume que la diferencia se debe a la capa de film plástico que recubre al poliéster, más específicamente se piensa que estos valores se deben a la deformación de la superficie debido al film en donde se producen vibraciones, causando esta curva de absorción poco común (ver Fig.5).

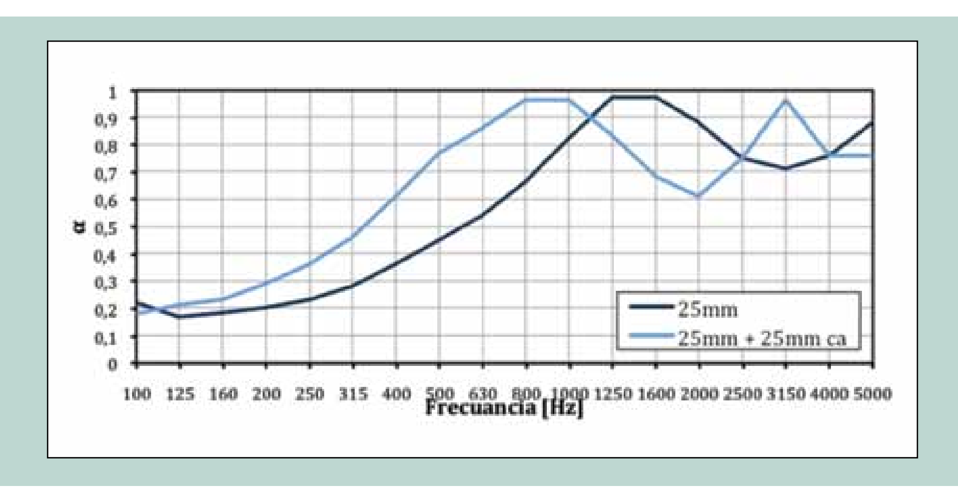


Figura 6. *Comparación entre las absorciones en 1/3 de octava con Fonac.*

Aunque los resultados obtenidos corresponden a lo esperado, se deben comparar con la información descrita por los fabricantes y con modelos matemáticos, para lo cual se optó por medir lana de vidrio 70 Kg/m^3 de 25mm de espesor y cámara de aire de 0mm (ver Fig.6). Donde se aprecia una aceptable correlación, sin embargo la precisión en bajas frecuencias disminuye posiblemente debido al error típico para este método, el montaje de la muestra o fugas sonoras.

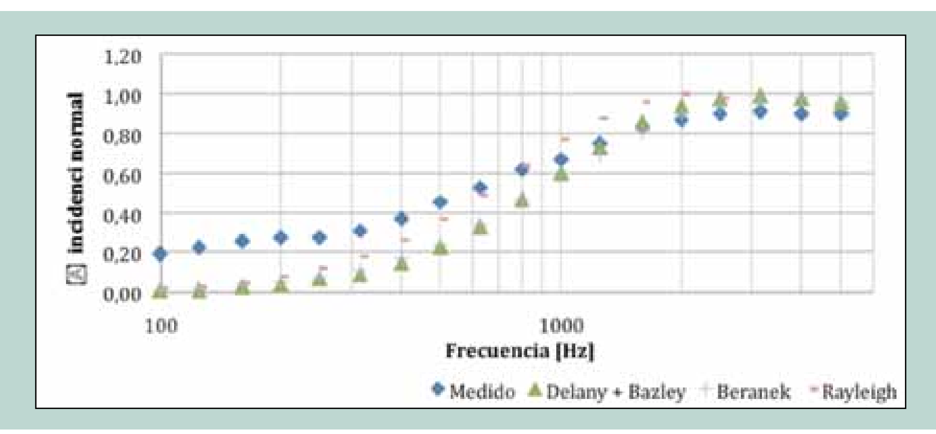


Figura 7. *Comparación entre el α medido y el α modelado*

La Fig. 8b muestra la comparación entre los coeficientes de absorción a incidencia normal y aleatoria, la curva roja representa a dicho coeficiente a incidencia normal (medida) y la curva azul representa el coeficiente a incidencia aleatoria (entregada por el fabricante). Para realizar una comparación efectiva se utilizó un modelo en el software Zorba (ver Fig. 8a) que muestre la misma relación entre los coeficientes de absorción (normal y aleatorio). Se puede notar que sus curvas son similares, se aprecia que las curvas a incidencia normal se encuentran en la mayoría del rango estudiado por debajo de la curva a incidencia aleatoria, al igual que en caso anterior en el rango de bajas frecuencias la curva medida baja su precisión.

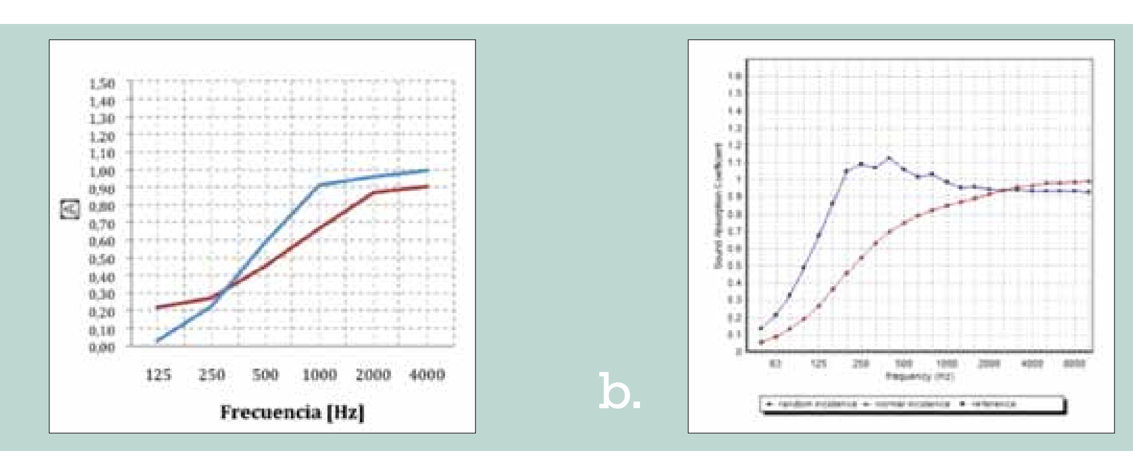


Figura 8. *a. Comparación entre el α en incidencia normal y difusa - Acusticfibra.*
b. Modelación acústica del coeficiente de absorción - Acusticfibra
Fuente: Software Zorba (Marshall Days)

Conclusiones

- Según las mediciones realizadas se pudo comprobar que mientras la función de transferencia sea más limpia y no presente desviaciones a su tendencia, el resultado de absorción acústica también poseerá estas características.
- Mientras más alejado esté el micrófono de referencia de la muestra aparecerán más picos en la función de trasferencia que ge-

neran caídas bruscas en los resultados de la absorción acústica, ocasionados por frecuencias similares a la de la distancia entre los micrófonos (S). La cantidad de caídas obtenidas en la curva de la absorción serán las mismas que los picos encontrados en la gráfica de la función de transferencia, a excepción del primer pico.

- En la configuración de medición S1 se pudo observar que la curva de absorción sonora obtenida abarca todo el rango sonoro esperado, es decir desde los 86 Hz hasta los 5600 Hz; es por esta razón que puede ser utilizado como un análisis preliminar, sin embargo para lograr mayor precisión en los resultados se deberá medir en la configuración S2 y S3 para frecuencias medias y bajas.
- La efectividad del tubo de impedancia es aceptable, debido a que los resultados obtenidos con el método son aproximados a los encontrados en las tablas de coeficientes de absorción con las que se compararon. En algunos casos se presentan diferencias mayores, que rompen con las tendencias de las curvas, sin embargo los valores obtenidos poseen una gran aproximación a los resultados esperados, basados en principios teóricos.
- La cantidad de promedios afecta al resultado y sobre todo tiende a mejorar la definición de la misma en bajas frecuencias.
- Según los resultados obtenidos se puede concluir que la configuración más idónea para un material absorbente poroso es con un tipo de montaje que considere una cámara de aire, ya que se obtiene con poco espesor una buena absorción en el rango audible.

Referencias

[1] ISO 10534-2: ''Determination of Sound Absorption Coefficient and Impedance in Impedance Tubes - Part 2: Transfer-Function Method'', TC43 Acoustics /SC2, Etapa 90.93, 1998.
[2] ASTM E1050-98: ''Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System'', Volume 04.06, 1998.
[3] Chung, J. Y., Blaser, D. A.: ''Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory - II. Experiment'', Journal of the Acoustical Society of America, 68(3): pp 907-914-921, September 1980
[4] Jurado Orellana, Carlos: ''Estudio experimental de la impedancia acústica en conductos y silenciadores bajo diferentes condiciones de borde'', Tesis – Universidad Austral de Chile, 2004
[5] Suhanek, M., Jambrosic, K., Domitrovic, H.: ''Student Project of building an impedance tube'', SFA - Acoustics 08 Paris, pp 4479-4484. 2008



MATERIALES ACÚSTICOS SEGUROS

- Placas fonoabsorbentes
- Aislantes acústicos para ruido de impacto
- Fonoabsorbentes ignífugos
- Compuestos acústicos
- Aislantes acústicos de alta densidad
- Membranas acústicas para ductos sanitarios
- Sellos herméticos para puertas
- Paneles, resonadores y puertas acústicas
- Sistemas de tableados fonoabsorbentes
- Silenciadores Splitter y encabinados acústicos

Distribuidor exclusivo para Ecuador de:



















NUEVOS PRODUCTOS

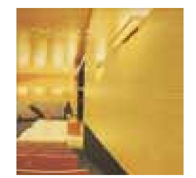
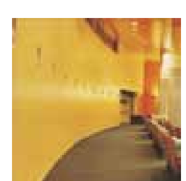
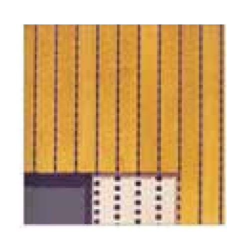
Sistema de tableado fonoabsorbente

Sistema innovador de elementos insonorizantes en tablas interconectables.
Permite excelentes soluciones decorativas generando una óptima calidad de sonido en los ambientes de aplicación.
Con extrema facilidad, los elementos pueden ser instalados con gran libertad de composición.



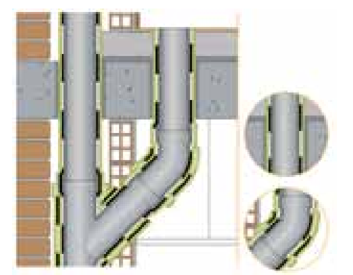
CAMPOS DE APLICACIÓN:
Revestimientos de cielos, muros y tabiques livianos.




FONODAN BAJANTES • Aislación acústica para instalaciones sanitarias

Especialmente diseñado para minimizar los ruidos producto de descargas y pasos de fluidos en todo tipo de ductos.
Disminuye los ruidos desagradables que produce el roce interno de fluidos en los ductos.
La banda de refuerzo minimiza los ruidos del tubo sifónico y de las tuberías descolgadas.
Mejora la calidad acústica disminuyendo el ruido de las instalaciones en 17dBA.
Muy fácil de aplicar.



CAMPOS DE APLICACIÓN: Instalaciones sanitarias.

IMPACTODAN

5mm "Aislante acústico para todo tipo de pisos"

- **Instalación económica, fácil y eficaz.**
- **Atenúa molestos ruidos como pisadas, caída de objetos y movimientos de muebles, entre otros.**
- **Estabilidad en sus propiedades en el tiempo, aún sometido a carga y fatiga.**
- **Cumple con la nueva normativa de aislación acústica española.**





EN ECUADOR
Rep. de El Salvador N35-146 y Suecia, Edificio Prisma Norte piso 11
Teléfonos: (593-2) 207-1185 • 226-9103 • 09-946-0233
ventasakustiko@gmail.com • info@akustiko.com.ec
www.akustiko.com.ec

MEDICIÓN DE PÉRDIDA POR INSERCIÓN

POR ACOPLAMIENTO DE SILENCIADORES EN DUCTOS DE FLUJO DE AIRE.

Carlos Ramos
c.ramos@udlanet.ec

Universidad de Las Américas
2010
Quito, Ecuador.

Recepción, aceptación y versión final:
Abril / 2011
SONAC, pp. 67-75

Resumen

El presente proyecto plantea, la comparación de los modelos teóricos empleados para el diseño de silenciadores tipo cámara de expansión y resistivo, con mediciones realizadas in-situ. Se analizarán la efectividad de las predicciones teóricas, así como las diferencias entre los resultados esperados y obtenidos.

El diseño de los silenciadores se realiza de acuerdo a preceptos bibliográficos, fórmulas y curvas desarrolladas en laboratorio y su evaluación se realiza de acuerdo la norma ISO 11820:1996.

Al final del presente trabajo se obtienen diferencias entre los resultados hipotéticos y reales, esto para lograr un balance aplicable al momento de diseñar silenciadores sin la ayuda de algún software específico.

Palabras clave: control de ruido, silenciador, flujo aire, ductos, pérdida de inserción.



Abstract

This project involves the comparison of in-situ measurements with the theoretical models used for design of silencers: expansion chamber and resistive ones. We will analyze the effectiveness of the theoretical predictions and the differences between results expected and obtained.

The design of the silencers is done according to regulations bibliographic formulas and curves developed in the laboratory and its evaluation are done according to ISO 11820:1996.

At the end of this paper it obtained differences between hypothetical and actual results, this applies to match a balance when designing mufflers without the help of some software.

Keywords: noise control, muffler, air flow, duct, loss, insertion

Antecedentes

En la mayoría de las actividades que el ser humano desarrolla, se registran niveles de ruido, los cuales afectan a su entorno de una u otra forma. En el ámbito industrial el ruido va de la mano con la producción, por este motivo se buscan herramientas que reduzcan la incidencia negativa del ruido en el ambiente laboral.

Se deben dar las condiciones adecuadas para que estos sistemas, generalmente ruidosos, no afecten al ambiente ni a la salud de los trabajadores.

Los sistemas de flujos de aire, sin lugar a duda son necesarios para el tratamiento de microclimas creados en ciertos procesos productivos. Se deben dar las condiciones adecuadas para que estos sistemas, generalmente ruidosos, no afecten al ambiente ni a la salud de los trabajadores.

Se tiene también otros flujos de gases que producen igual o mayor ruido que los de aire, en este grupo se puede mencionar a los ductos de escape de los motores de combustión interna. Uno de los métodos de control de ruido más utilizado frente al problema mencionado, son los silenciadores. Conociendo también las características mecánicas de la fuente y del comportamiento espectral del ruido que esta genera, se podrá definir el tipo de silenciador más adecuado para acoplarlo al ducto.

Desarrollo

Este trabajo presentará las diferencias entre los valores de atenuación y pérdida de carga predichos por los modelos teóricos con los resultados obtenidos experimentalmente. Para obtener menores diferencias entre los resultados se seguirán estrictamente las guías bibliográficas y la norma ISO aplicable[1].

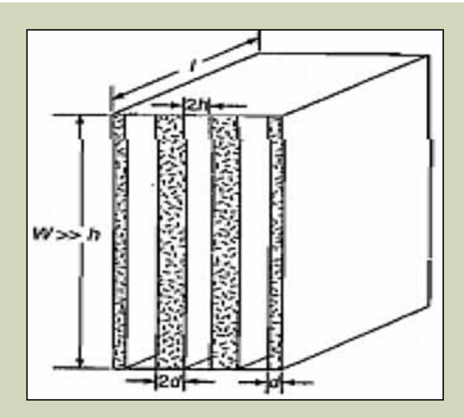


Figura 1. *Silenciador Resistivo.*

Los silenciadores de tipo resistivo, (Fig. 1)[2] consisten en un ducto circular o rectangular cuyas paredes internas están revestidas por material absorbente. Este silenciador tiene como característica principal la absorción del sonido que atraviesa el ducto, a través de los materiales porosos y fibrosos que conforman los bafles del silenciador. Es muy efectivo en altas frecuencias. István L. Ver, en su libro "Noise and Vibration Control Engineering, Principles and Aplications", propone gráficas (Fig. 2)[2] en las que se analiza la sección libre al flujo en el silenciador y la característica absorbente del material. Se debe respetar la condición de onda plana, la que nos dice que la sección libre debe ser menor o por lo menos igual a una longitud de onda de la frecuencia incidente.

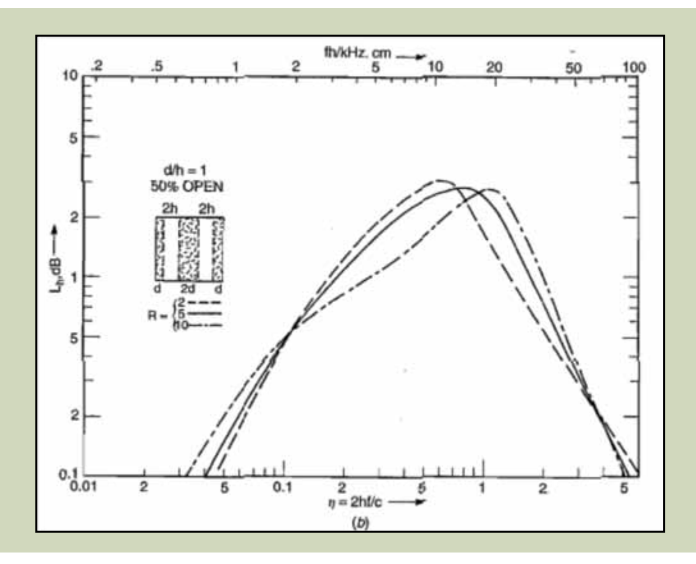


Figura 2. *Curvas de Atenuación*

Los silenciadores reactivos consisten generalmente en una o más cámaras de expansión en las que, a través del paso del sonido, la atenuación se logra mediante reflexiones que provocan la destrucción del frente de onda[3].

En este grupo de silenciadores están las cámaras de expansión, simples (Fig. 3)[4] y múltiples, que son ductos que cambian bruscamente su sección transversal, en incremento, para luego volver a tomar la sección transversal anterior, esta relación entre las dimensiones de la sección expandida y la de tamaño normal, son las que se deben sintonizar para obtener mayor atenuación en una frecuencia.

En este caso no se hablará de una atenuación producto de la disipación de calor, sino la resultante de una reacción entre las señales incidentes y reflejadas[4].

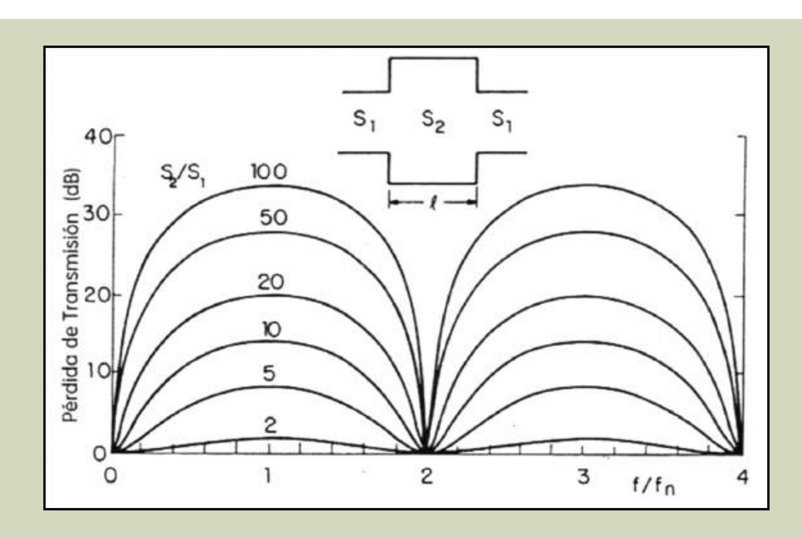


Figura 3. *Cámara de expansión simple.*

A estos dos silenciadores se los puso a prueba para atenuar el ruido provocado por una fuente de las siguientes características:

Marca	Electric Blower
Tamaño	4"
Velocidades	1
Voltaje AC	110 V
Amperaje	5 A
Frecuencia	60 Hz.
# aspas	6
RPM	3000 / 3600

Tabla 1. *Configuraciones y frecuencias límite para las mediciones.*



Figura 4. *Fuente: Ventilador centrífugo*

Los silenciadores diseñados lograron atenuar el ruido de la fuente de distinta manera, según su principio de funcionamiento. Primeramente al silenciador resistivo se lo sintonizó para funcionar a partir de los 2 kHz con un área transversal (Fig. 5.) 2 sin material absorbente del 50% y 30% y aplicando las siguientes relaciones.

$$f = \frac{c}{2h}$$

$$h = \frac{c}{2f}$$

d/h = 1
50% OPEN
2h 2h
d 2d d

d/h = 2
33% OPEN
2h 2h
d 2d d

Figura 5. *Relaciones de Sección transversal.*

El material utilizado para la pareja de dispositivos es tol de 0,9 mm, para los bafles se ha seleccionado planchas de tol perforado…

El material utilizado para la pareja de dispositivos es tol de 0,9 mm, para los bafles se ha seleccionado planchas de tol perforado, con dos propósitos, la protección del material absorbente que irá dentro de los bafles, y además permitir el paso del aire al interior del bafle. Los bafles serán rellenos de lana de vidrio de 2".

Para las tapas de los silenciadores también se utilizó tol de 0,7 mm, con empaques de caucho para acoplarlos reduciendo el efecto de fuga de aire.

La pérdida por inserción (IL), es la diferencia entre dos niveles de presión sonora, tomadas en el mismo punto en el espacio, antes y después de que el silenciador es insertado.

$$IL = LP_1 - LP_2$$

Donde
LP_1 = NPS medido en algún punto en el espacio sin silenciador.
LP_2 = NPS medido en el mismo punto con el silenciador insertado.

Resultados

Respetando los preceptos bibliográficos se ha llegado a la construcción de los siguientes modelos:

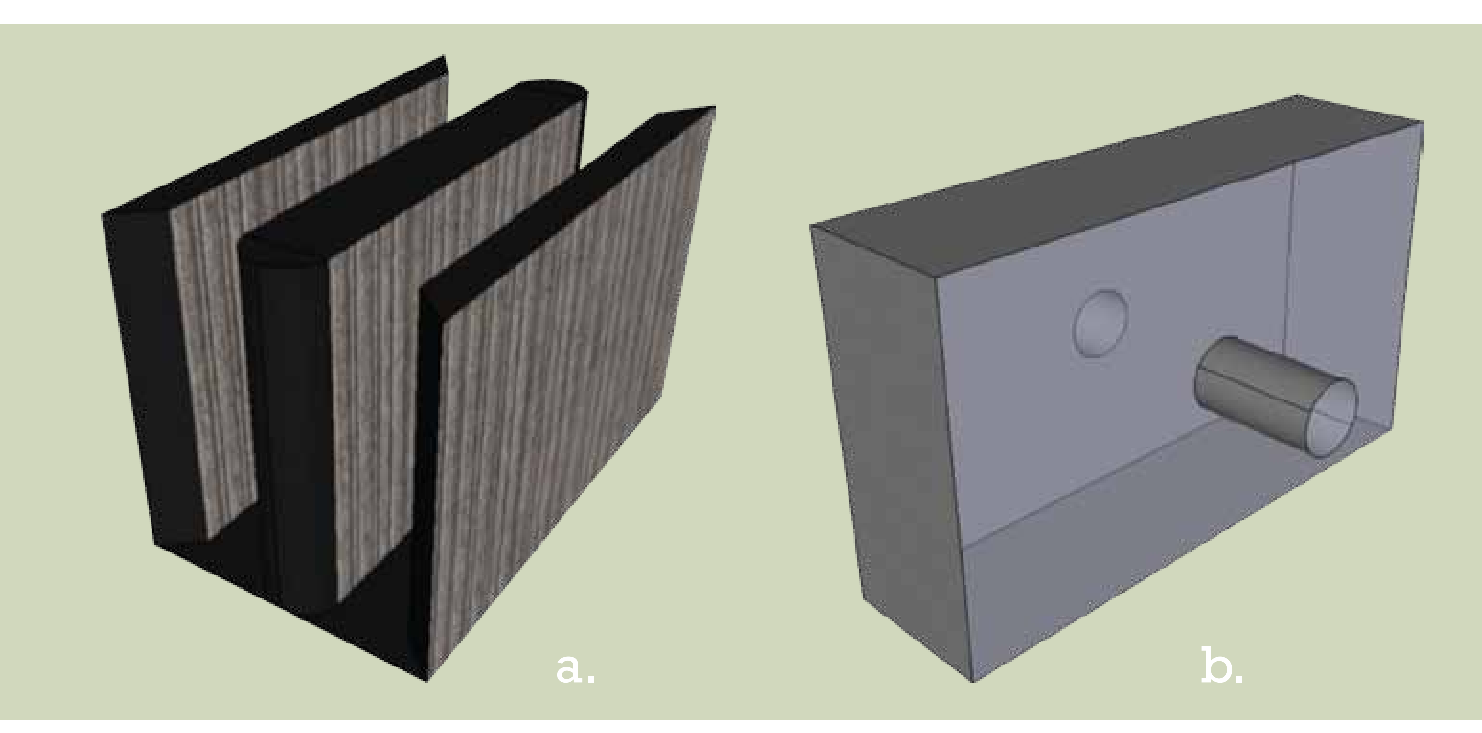


Figura 6. *a. silenciador resistivo b. cámara de expansión simple*

Además de la atenuación se modeló y midió la caída de presión que los silenciadores proporcionan al sistema ducto-fluido. Se lograron resultados que no afectan al sistema y están dentro de los valores esperados

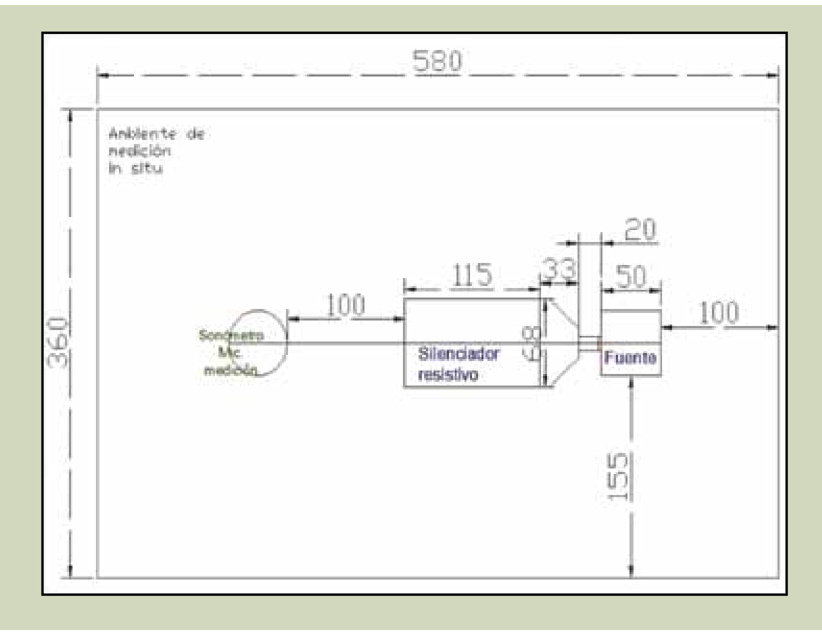


Figura 7. *Montaje de la medición.*

Los resultados más representativos se lograron con la toma de aire totalmente abierta, se midió primeramente el espectro de la fuente, y también se calculó su frecuencia fundamental, la cual es aproximadamente 330Hz.

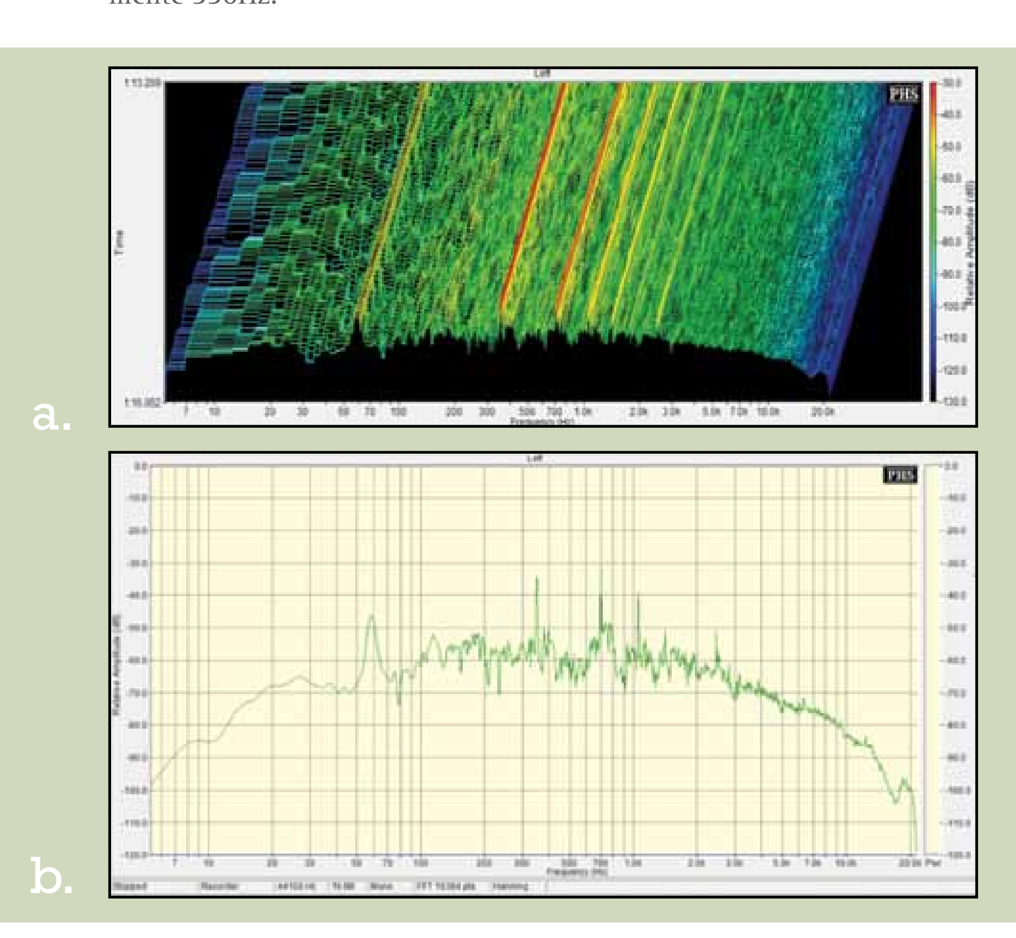


Figura 7. *a. Espectrograma del ruido de la fuente. b. Espectro de frecuencias del ruido de la fuente.*

Al momento de acoplar los silenciadores diseñados se logró una atenuación del ruido tal, que responde a las siguientes gráficas de espectro de frecuencias.

Como se observa en los gráficos siguientes (Fig. 9), el espectro de ruido (verde) con su pico fundamental en 330 Hz y la curva de nivel de ruido (violeta) una vez acoplado el silenciador resistivo con superficie cubierta del 30%. A continuación junto al mismo espectro de ruido, el nivel (naranja) ahora acoplado el silenciador con superficie cubierta de 50%. Finalmente el ruido de la fuente con el nivel atenuado (marrón) mediante la cámara de expansión simple.

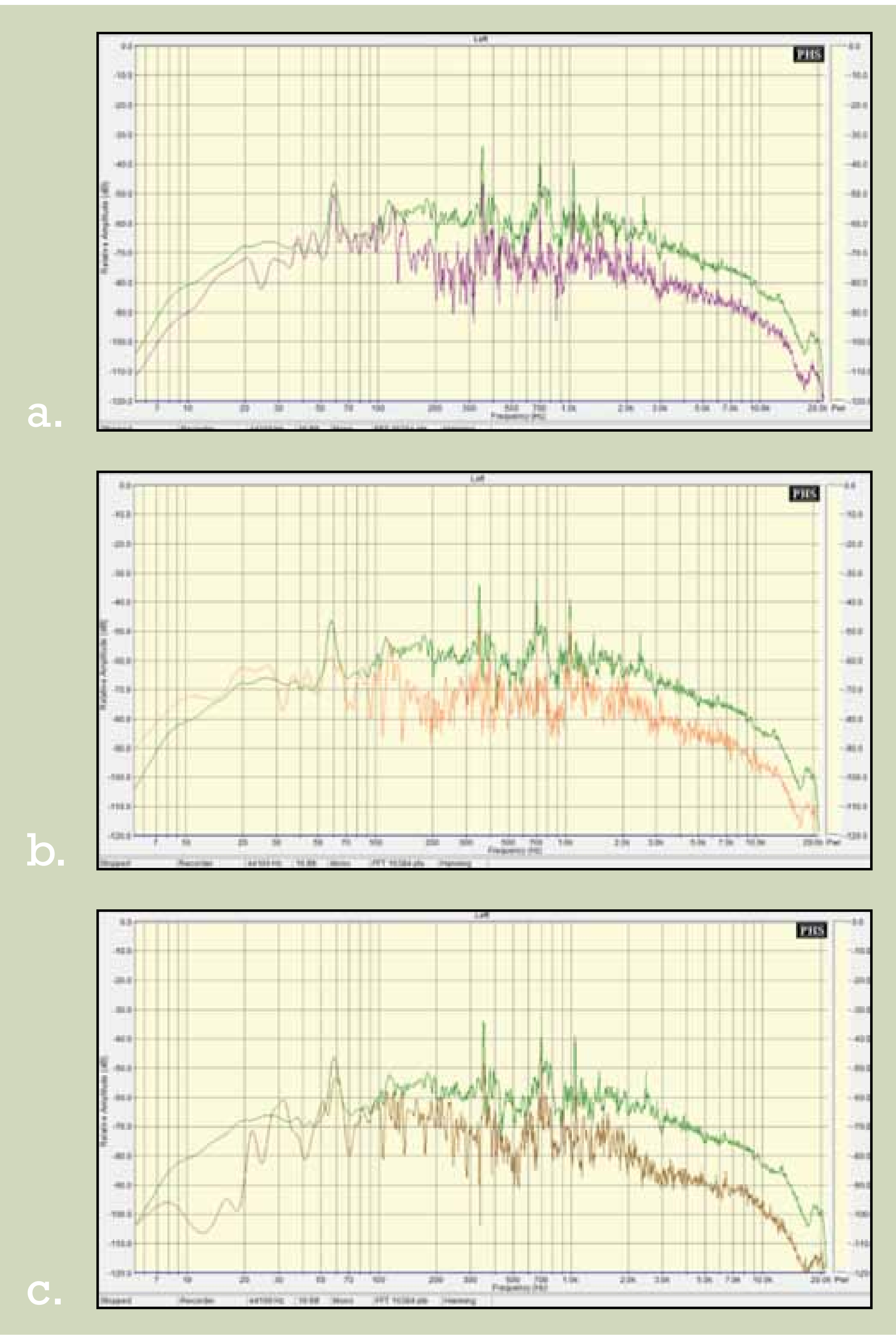


Figura 9. *a. Atenuación silenciador resistivo 30%. b. Atenuación silenciador resistivo 59%. c. Atenuación cámara de expansión simple*

La norma aplicada exige la medición de velocidad de flujo, antes y después del acoplamiento de los silenciadores. Se midió la pérdida de carga, con el uso un manómetro diferencial. Conectándolo a un tubo de Prandtl y midiendo la altura a la que asciende el agua se puede determinar directamente la caída de presión en dicho punto y posteriormente la velocidad de flujo, aplicando la siguiente fórmula donde se hace relaciones de densidad de flujo[6].

$$P_1 - P_2 = (\rho_2 - \rho_1)gh$$

$$V_f = \sqrt{\frac{2*\Delta P}{\rho}}.S$$

Donde

g es la gravedad, ρ_1 densidad del aire, ρ_2 densidad del fluido del manómetro, *S* sección de salida del aire, ρ densidad del aire.

Conclusiones

- Se diseñaron los distintos modelos de silenciadores únicamente aplicando métodos teóricos. Se midieron los niveles de atenuación (IL) en las frecuencias que exige la norma aplicada.
- Para la pérdida de carga de utilizó un tubo de Prandtl, partiendo de medir con este instrumento la velocidad de flujo, como lo sugiere la norma.
- La cámara de expansión sintonizada en 330 Hz, atenúa 15 dB menos que lo que el método teórico predice.
- La cámara de expansión para 330 Hz maximiza su atenuación en la banda de la frecuencia de diseño, lo mismo sucede en sus frecuencias armónicas impares. Los silenciadores resistivos son los que mayor caída de presión y atenuación generan experimentalmente.
- El valor de IL en los silenciadores resistivos es similar entre lo esperado por el modelo teórico y el obtenido prototipo diseñado.
- El material absorbente utilizado se aproxima a la función del material descrito teóricamente como coeficiente de resistividad R1 de las gráficas predictivas.
- Al aumentar la velocidad de flujo, aumenta el rozamiento del aire en los bafles de los silenciadores resistivos, haciendo más efectivo el sistema.
- Las diferencias entre los resultados predichos y los obtenidos se pueden deber a varias causas como: rigidez del material, condiciones de medida, las condiciones ideales con las cuales se desarrolla la teoría.
- Las curvas desarrolladas por István L. Vér, se obtuvieron en condiciones más controladas (laboratorio), a esto se puede deber las diferencias entre los resultados obtenidos en los silenciadores resistivos.
- Se tiene altas componentes de ruido en los 60 Hz. Esto se puede tratar con otro tipo de soluciones acústicas debido al comportamiento del ruido eléctrico.
- El cambio de velocidad en los silenciadores hace que el nivel de ruido se reduzca.
- Se logra una caída de presión aceptable, acorde con el nivel atenuado.
- El tamaño de los silenciadores diseñados puede no estar de acuerdo con el tamaño de la fuente.

Referencias

[1] ISO 11820:1996, Medición in situ de silenciadores, UNE-EN, 1997, 30 páginas.

[2] VÉR, István L/ BERANEK, Leo L. Noise and Vibration Control Engineering, Principles and Appplications, Ed. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, segunda edición, 2006, 966 páginas.

[3] BELL, Lewis H. / Douglas H. Industrial Noise Control Fundamentals and Applications, New York, USA, segunda edición, 1994. 660p.

[4] GERGES, Samir. Ruido Fundamentos y Control, Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 1998. 555p.

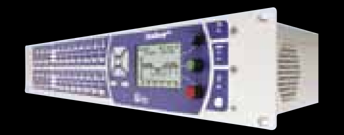
[5] HARRIS, Cyrill. Manual de Medidas Acústicas Y Control del Ruido, Ed. McGraw-Hill, 1328 páginas.

[6] ÇENGEL Yunus / BOLES Michael A. Termodinámica, Ed. McGraw-Hill, cuarta edición, 2003, 856 páginas.

SONO·TEC



Primer proveedor de sistemas escénicos del país









Galileo
Loudspeaker
Management System

M Series
Mica-Compact High Power
Curvilinear Array Loudspeaker

Studio Series
HD1 High Definition
Audio Monitor

Concert Series
700-HPUltraHigh-Power Subwoofer

www.sonotec.com.ec











IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE RUIDO
POR EL MÉTODO DE *BEAMFORMING*

Prof. Samir N. Y. Gerges, Ph.D.
samir@emc.ufsc.br

Universidad Federal de Santa Catarina
2011
Florianópolis, SC, Brasil.

Recepción, aceptación y versión final:
Abril / 2011
SONAC, pp. 77-94

Resumen

Los procesos de identificación y cuantificación de las fuentes de ruido en sistemas complejos como aeronaves, automóviles, máquinas e instalaciones industriales, son fundamentales para satisfacer las condiciones exigidas por las leyes y, adicionalmente, garantizar el confort acústico y la calidad del producto. Existen varias técnicas de identificación y cuantificación de las contribuciones de cada fuente de ruido en sistemas complejos, tales como: mapeo de los niveles de presión sonora, medición y mapeo de intensidad acústica, holografía acústica y beamforming. La última técnica es considerada la más reciente, con la ventaja de mapear grandes fuentes a grandes distancias, especialmente en altas frecuencias, permitiendo también el uso de un número menor de micrófonos, si se la compara con la holografía acústica.

La técnica de beamforming es utilizada para el mapeo de fuentes de ruido en campo distante, a través de la estimación de la amplitud de ondas incidentes en una matriz de micrófonos, en un conjunto dado de direcciones. La técnica puede ser usada para identificación de las fuentes durante pruebas de *pas-by* vehicular y para identificación de las mayores fuentes de ruido en aeronaves durante el *fly-over* en la aproximación y despegue. En este trabajo serán demostrados los principios básicos de esta técnica y las aplicaciones para las áreas aeronáutica y automovilismo.

Palabras Claves: ruido, fuente, identificación, beamforming, aeronáutica, aproximación, despegue, automovilismo.



Abstract

Noise sources identification and quantification processes in complex systems like aircrafts, automobiles, machines and industries, are funda-

mental to satisfy the conditions demanded by the laws and, additionally, to guarantee the acoustic comfort and the product quality. There are several noise source contributions identification and quantification techniques in complex systems, such as: sound pressure level mapping, acoustic intensity measurement and mapping, acoustic holography and beamforming. The last technique is considered the most recent, with the advantage of mapping great sources to great distances, especially in high frequencies, also allowing the use of a smaller number of microphones, if it's compared with the acoustic holography.

The beamforming technique is used for noise sources mapping in distant field, through the estimation of the incident wave amplitude in a microphones matrix, in a given directions array. The technique can be used for sources identification during vehicle pas-by tests and for the biggest aircrafts noise sources identification during fly-over in the approach and when it takes off. In this work will be showed the technique principles and their applications in aeronautical and automobile areas.

Key Words: noise, source, identification, beamforming, aeronautics, take-off, motoring.

Introdución

La técnica de beamforming está basada en conceptos bastante simples de procesamiento de matrices de sensores. Sus primeras aplicaciones en localización acústica surgieron durante el período de la Primera Guerra Mundial y se volvió aun más difundida con el desenvolvimiento de equipamientos de SONAR para submarinos (SONAR - SOund Navigation And Ranging).

Una buena introducción sobre la técnica, incluyendo la presentación de diversos algoritmos clásicos, fue presentada por Van Veen y Buckley [1]. La técnica consiste básicamente en la estimación de la amplitud de ondas planas, o esféricas, incidentes sobre la matriz de sensores para un conjunto de direcciones definido. La resolución angular es inversamente proporcional al diámetro de la matriz expresado en unidades de longitud de onda. Por tanto, la matriz debe ser mayor que la longitud de onda para la obtención de una buena resolución angular. En bajas frecuencias, esa condición no es satisfecha, por tanto la resolución será debilitada.

La resolución angular es inversamente proporcional al diámetro de la matriz expresado en unidades de longitud de onda.

Actualmente, los métodos más prometedores para la obtención de imágenes acústicas son el beamforming y la holografía acústica. Una diferencia importante entre aquellas técnicas es que la primera puede emplear geometrías irregulares para la matriz de micrófonos. La holografía acústica tradicional requiere una malla regular y rectangular de puntos para aplicar una transformada espacial discreta de Fourier en dos dimensiones. Fuera de la región de campo próximo, tal construcción regular no presenta *aliasing*, o duplicación, apenas si el espaciamiento entre los puntos es menor que la mitad de longitud de onda. Cuando

el espaciamiento excede un medio de longitud de onda, los disturbios causados por la sub-muestra espacial aumentan bruscamente. Por otro lado, la utilización de matrices irregulares, permite una transición más suave, controlando los efectos de *aliasing* hasta en frecuencias más altas con la misma densidad media de muestra espacial. Esto explica por qué el proceso de beamforming puede ser utilizado hasta en frecuencias más altas con un número considerablemente menor de transductores.

La construcción de sistemas que permiten la aplicación de esa técnica en la evaluación de fuentes de ruido en aeronaves ya era realizada incluso antes de 1974 [2]. Sin embargo, el aumento de la capacidad de procesamiento de señales observado en las últimas décadas hizo posible el desenvolvimiento de algoritmos cada vez más eficientes para el procesamiento de ese tipo de sistemas.

Fundamentos de la técnica de Beamforming

El objetivo principal de este documento es presentar al lector los conceptos físicos, las suposiciones y el vocabulario necesario para comprender el método de beamforming. Como ya fue mencionado anteriormente, la matriz de sensores consiste en un conjunto de micrófonos distribuidos en un patrón conocido. La posición y el número de micrófonos determinan características como la banda de frecuencia "útil", la resolución espacial y la relación señal ruido. Estas relaciones son discutidas a continuación.

El principio de la técnica puede ser explicado presentando el algoritmo básico de retardo-y-suma, también llamado de beamforming convencional [3]. Inicialmente, es asumida la hipótesis de incidencia de una onda plana. Como se ilustra en la Figura 1, se considera una matriz de M micrófonos en las posiciones $\vec{r}_m$, con m = (1, 2,..., M) en el plano *xy* del sistema de coordenadas. El proceso se resume en la suma de la presión sonora medida en cada transductor, p_m, después de aplicados los respectivos retardos Δ_m como se presenta en la ecuación descrita a continuación, donde w_m es un coeficiente de ponderación aplicado a la señal de cada micrófono:

$$b(\vec{\kappa}, t) = \sum_{m=1}^{M} w_m p_m \left(t - \Delta_m(\vec{\kappa})\right)$$

Figura 1. *Esquema que representa una matriz de micrófonos con dirección de foco en la misma dirección de una onda plana incidente.*

Los retardos Δ_m son determinados con el objetivo de alcanzar sensibilidad selectiva en relación a una determinada dirección, caracterizada por el vector unitario $\vec{\kappa}$. Este objetivo es cumplido ajustando los retardos de manera que las señales asociadas a la onda plana, incidente de la dirección $\vec{\kappa}$ estén alineados en el dominio del tiempo, antes de ser sumados. Para esto, a partir de consideraciones geométricas de la Figura 1, se determinan los retardos según la siguiente ecuación, donde *c* es a velocidad del sonido:

$$\Delta_m = \frac{\vec{\kappa} \cdot \vec{r}_m}{c} \qquad (1)$$

Las ondas que vienen de otras direcciones no estarán alineadas antes de la suma y por tanto, no serán adicionadas coherentemente. Así, se obtiene la sensibilidad direccional deseada. En el dominio de la frecuencia, el equivalente a la ecuación (1) puede ser expresado por la siguiente expresión:

$$B(\vec{\kappa},\omega) = \sum_{m=1}^{M} w_m P_m(\omega) e^{-j\omega\Delta_m(\vec{\kappa})} = \sum_{m=1}^{M} w_m P_m(\omega) e^{-j\vec{k}\cdot\vec{r}_m} \qquad (2)$$

siendo, ω la frecuencia angular, $k = \omega/c$ el número de onda y $\vec{k} \equiv -k\vec{\kappa}$ el número de onda vectorial de un onda plana en la dirección en que la matriz está siendo enfocada. De esa forma, se puede escribir $B(\vec{\kappa},\omega)$ en lugar de $B(\vec{\kappa},\omega)$.

A través de la selección de los retardos $\Delta_m(\vec{\kappa})$ o, equivalentemente, de los números de onda vectoriales $\vec{k} \equiv -k\vec{\kappa}$ se optimiza el algoritmo de beamforming para la dirección $\vec{\kappa}$. Idealmente, se procura tener sensibilidad apenas en esa dirección, de manera que se tenga una localización perfecta de las fuentes sonoras. Para demostrar la influencia de ondas que vienen de otras direcciones, se puede considerar una onda plana con número de onda vectorial $\vec{k}_0$, como se observa en la figura 2, diferente de la dirección de foco $\vec{k}$.

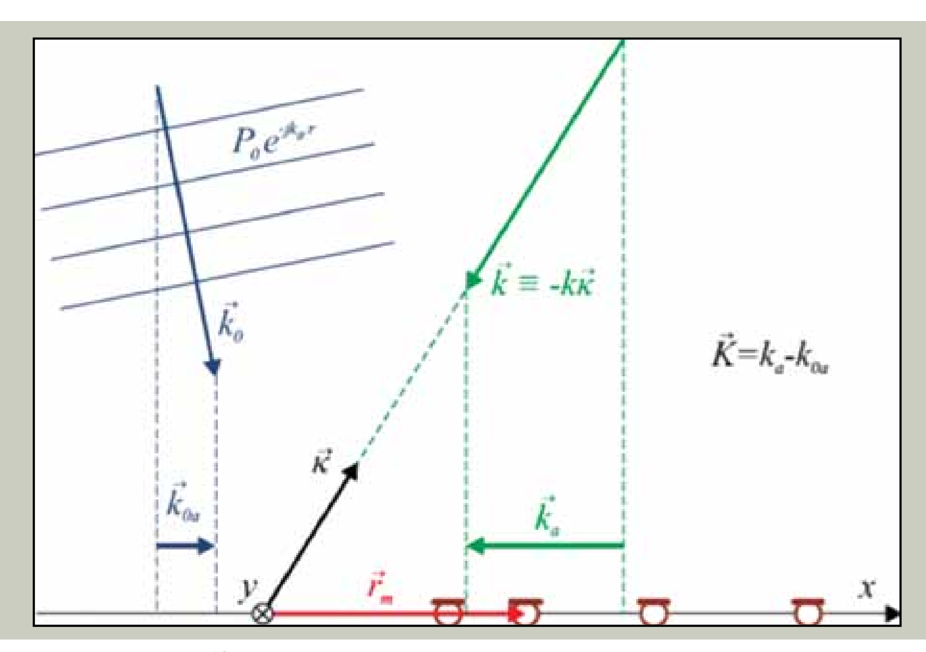


Figura 2. *Onda plana* $\vec{k}_0$ *incidente en dirección diferente de la del foco*

La presión sonora medida en los micrófonos será, entonces:

$$P_m(\omega) = P_0 e^{-j\vec{k}_0 \cdot \vec{r}_m} \quad (3)$$

la cual, de acuerdo con la ecuación (3), resultará en:

$$B(\vec{\kappa},\omega) = P_0 \sum_{m=1}^{M} w_m e^{-j(\vec{k}-\vec{k}_0)\cdot\vec{r}_m} \equiv P_0 W(\vec{k}-\vec{k}_0) \quad (4)$$

La función W es conocida como la función de forma de la matriz:

$$W(\vec{K}) \equiv \sum w_m e^{j\vec{K}\cdot\vec{r}_m} \quad (5)$$

La ecuación (6) tiene la forma generalizada de una Transformada Discreta de Fourier espacial de la función de ponderación w, que es igual a cero fuera del área de la matriz. Para el caso de una función de ponderación uniforme, $w_m \equiv 1$, la ecuación depende apenas de la geometría de distribución de los transductores. A menos que se diga lo contrario, será considerada una ponderación uniforme, la que permite omitir el término w_m.

Como los micrófonos están posicionados en el plano xy, la coordenada z del vector de posición $\vec{r}_m$ es nula. De esa forma, la ecuación (6) es independiente de K_z, pudiéndose considerar la función W apenas en el plano (K_x, Ky). O sea, son consideradas las proyecciones de los números de onda vectoriales en ese plano, siendo que W posee los mayores valores en el origen, con pico igual a M en (K_x, Ky) = (0, 0). De acuerdo con la ecuación (5), este pico representa la alta sensibilidad a las ondas planas venidas de la dirección $\vec{\kappa}$, en la cual la matriz está enfocada. En la Figura 3, puede ser vista una ilustración de ese pico, llamado lóbulo principal. Otros picos direccionales son llamados de lóbulos laterales.

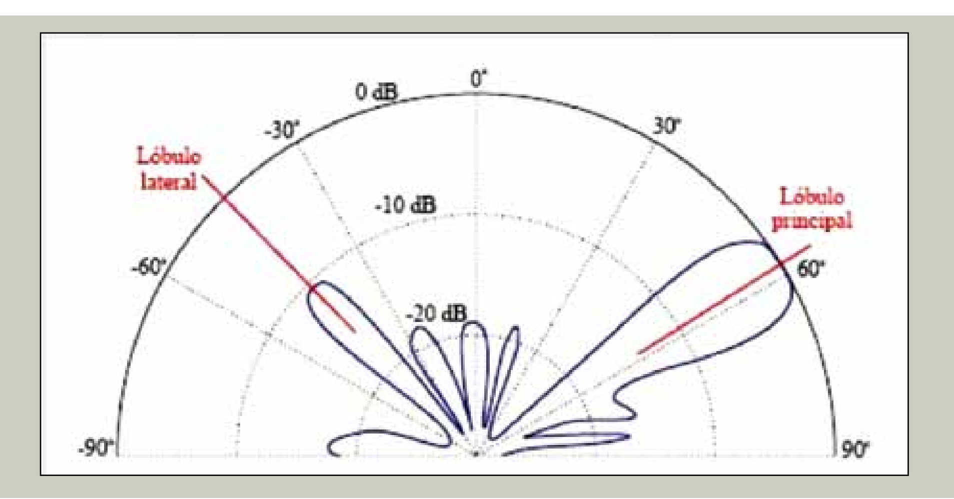


Figura 3. *Diagrama de sensibilidad direccional, ilustrando el lóbulo principal en la dirección de foco y lóbulos laterales en otras direcciones.*

Como fue visto anteriormente, la Figura 1 contiene información sobre una única frecuencia y dirección de foco, mientras que la ecuación (5) muestra que la forma de la matriz, expresada en la ecuación (6), contiene información sobre la estructura de lóbulos laterales para todas las frecuencias y direcciones de foco. Un lóbulo lateral apunta para una onda plana con amplitud considerable y dirección diferente de la dirección real de incidencia, creando las llamadas imágenes fantasma. El nivel de los lóbulos laterales en relación al lóbulo principal, también llamado banda dinámica, define la habilidad del algoritmo en suprimir imágenes fantasma.

Para el caso de foco perfecto, $\vec{k} = \vec{k}_0$, el algoritmo de retardo-y-suma amplifica la señal de entrada por el número de canales: $B(-\vec{k}_0/k, \omega) = MP_0$. Siendo así, generalmente se normaliza el resultado por el número de canales:

$$B(\vec{\kappa}, \omega) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^{M} P_m(\omega) e^{-j\vec{k}\cdot\vec{r}_m} \quad (6)$$

Esa operación es mostrada esquemáticamente en la Figura 4.

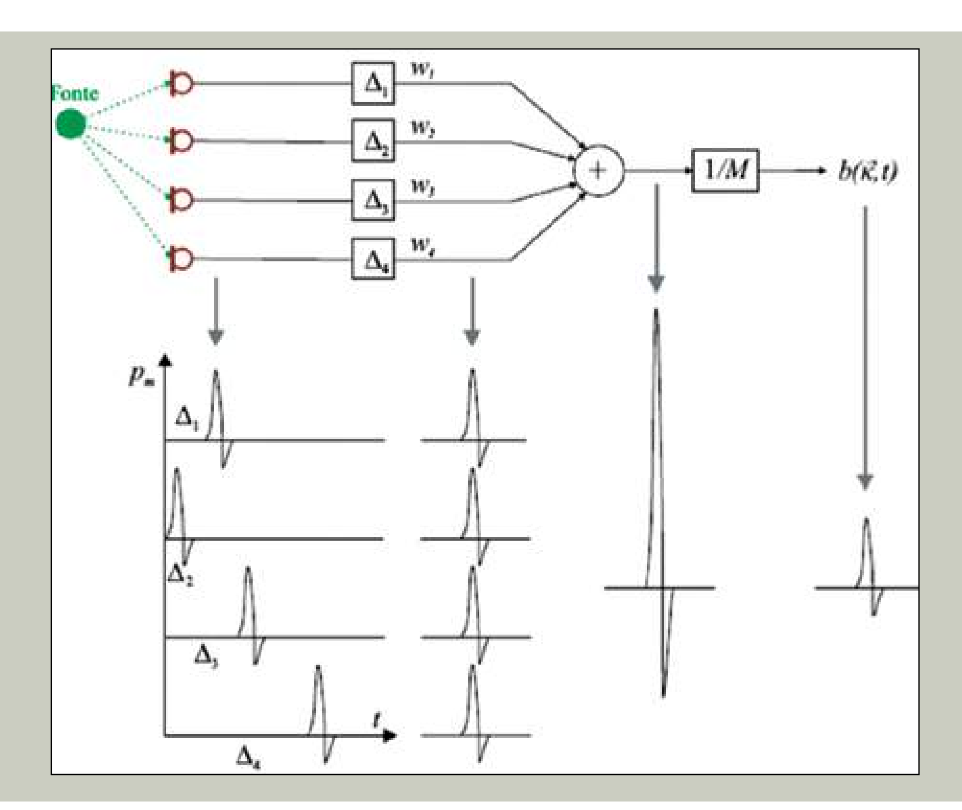


Figura 4. *Principio esquemático del beamforming convencional, donde la señal de los transductores es sumada en fase y posteriormente normalizada por el factor 1/M.*

Es posible también direccionar el foco para una fuente sonora en una distancia finita, o sea, para mediciones en campo próximo.

Es posible también direccionar el foco para una fuente sonora en una distancia finita, o sea, para mediciones en campo próximo. Ese método es llamado *beamforming focalizado* y en ese caso se supone la incidencia de una onda esférica sobre la matriz de micrófonos. Los retardos Δ_m presentados en la ecuación (2) fueron determinados con el objetivo de alinear las señales en el tiempo, antes del proceso de suma mostrado en la ecuación (1). Para enfocar el beamforming, los retardos deben alinear las señales en el tiempo de ondas esféricas, como ilustra la Figura 5.

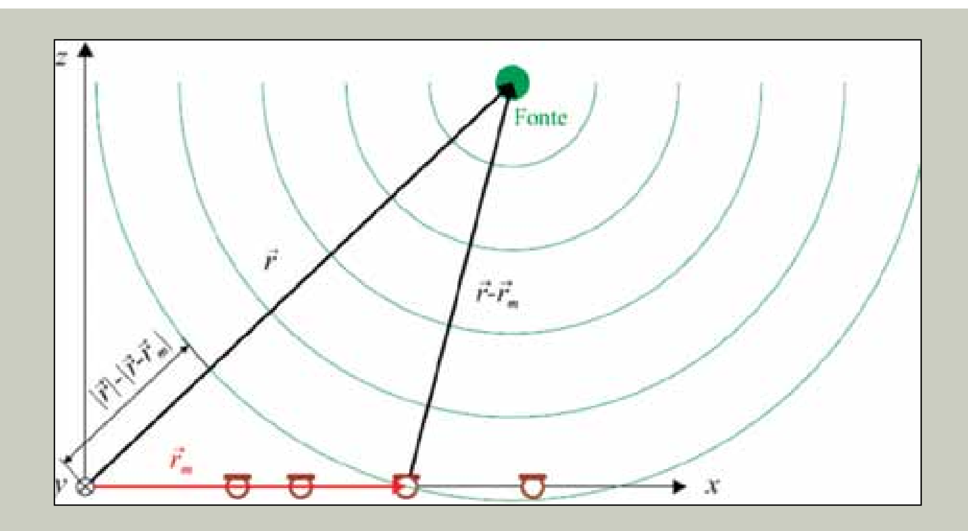


Figura 5. *Ondas esféricas emitidas por un monopólo posicionado en* $\vec{r}$

La expresión para el retardo-y-suma en el dominio de la frecuencia y con foco en un punto $\vec{r}$ se torna:

$$B(\vec{r},\omega) = \sum_{m=1}^{M} P_m(\omega) e^{-j\omega \Delta_m(\vec{r})} \tag{7}$$

en la cual los retardos fueron introducidos en la forma de:

$$\Delta_m = \frac{|\vec{r}| - d_m(\vec{r})}{c} \tag{8}$$

siendo $d_m(\vec{r}) \equiv |\vec{r} - \vec{r}_m|$ la distancia del micrófono *m* para el punto de foco.

Obtención de las imágenes acústicas y localización de las fuentes

El proceso básico para la obtención de las imágenes consiste en direccionar numéricamente la matriz para una serie de puntos predefinidos, como ilustra la Figura 6. Durante ese proceso, si el foco apunta hacia una fuente sonora real las señales de los micrófonos serán adicionadas constructivamente resultando en un alto valor de $B(\vec{r},\omega)$. Si no hubiera una fuente real en aquel punto, las señales serán adicionadas destructivamente resultando en un bajo valor de $B(\vec{r},\omega)$. El mismo procedimiento

es realizado para cada frecuencia de interés en el conjunto de puntos definido por la región de análisis.

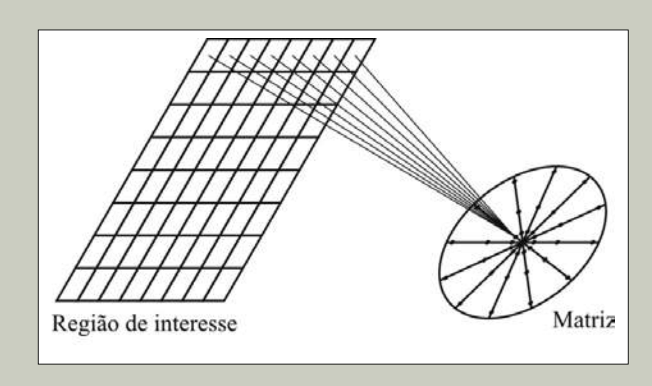


Figura 6. *Direccionamiento de la matriz para diferentes puntos de la región de interés.*

Después de realizado el proceso de beamforming en todos los puntos de interés, la mayor región de la función $B(\vec{r},\omega)$, o lóbulo principal, indica la posición de la fuente principal en cada frecuencia, como el ejemplo mostrado en la curva a la derecha en la Figura 7. En esta curva los niveles fueron cortados en valores de 20 dB abajo del lóbulo principal para facilitar la visualización. La relación señal ruido (SNR) de una matriz dada es determinada por la diferencia entre el lóbulo principal y el mayor de los lóbulos laterales, que son lóbulos no asociados a una fuente.

La relación señal ruido (SNR) de una matriz dada es determinada por la diferencia entre el lóbulo principal y el mayor de los lóbulos laterales, que son lóbulos no asociados a una fuente.

Esos lóbulos laterales, como ya se mencionó anteriormente, son resultantes del efecto de *aliasing* espacial debido a la naturaleza discreta de la distribución de los sensores. En beamforming es común definir un área que representa la localización de la fuente como la región establecida por una banda abajo del nivel de presión sonora máximo. La imagen a la izquierda en la Figura 7, muestra el resultado para una banda dinámica de 3 dB. Por ejemplo, la longitud asociada a la banda dinámica de 3 dB determina la resolución o la *longitud de haz* de una matriz, que depende directamente de características como el número de transductores y la geometría de la matriz.

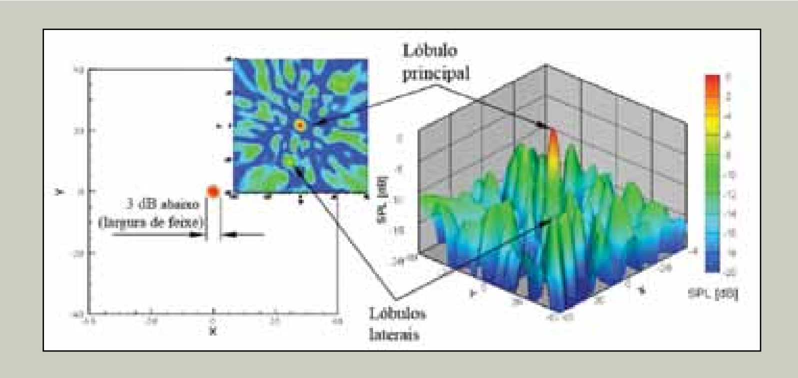


Figura 7. *Resultado típico del beamforming de una única fuente, mostrando el lóbulo principal, los lóbulos laterales y a longitud de haz en mapas 2D y 3D.*

Geometría de la matriz de micrófonos

La presencia de los lóbulos laterales en el diagrama de sensibilidad direccional, como el expuesto en la Figura 3, causa la interferencia de ondas incidentes de otras direcciones diferentes a la del foco en la evaluación de la dirección principal $\vec{\kappa}$. Eso resultará en picos o fuentes falsas en el mapa direccional en regiones donde no existen fuentes. Un sistema de beamforming eficiente puede ser caracterizado, consecuentemente, por un reducido nivel máximo de los lóbulos laterales (NMLL) en relación al lóbulo principal.

Un sistema de beamforming eficiente puede ser caracterizado, consecuentemente, por un reducido nivel máximo de los lóbulos laterales (NMLL) en relación al lóbulo principal.

De esa forma, el desempeño de un sistema de beamforming es largamente dependiente de la geometría de la matriz, una vez que ella define la función de forma, ecuación (6). A partir de la función de forma se puede extraer el NMLL, que establece la capacidad de suprimir imágenes fantasma. Siendo así, las propiedades de una matriz dada pueden ser investigadas; por otro lado, el proceso inverso - proyectar la matriz para alcanzar una determinada resolución y banda de frecuencia - no es directo. Algunos ejemplos de matrices son presentadas en la Figura 8, inclusive algunas matrices optimizadas estadísticamente para la reducción del NMLL.

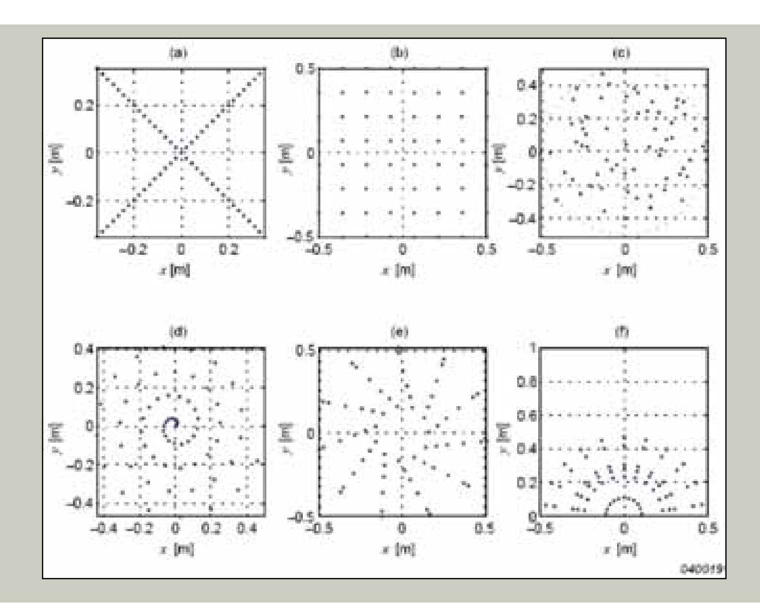


Figura 8. *Diferentes geometrías de matrices: (a) regular en cruz; (b) regular rectangular; (c) aleatorio optimizado; (d) espiral de Arquímedes; (e) rueda optimizada; (f) media rueda optimizada [13].*

Si el NMLL alcanza el límite inferior de la banda dinámica de visualización de las imágenes ocurrirá el surgimiento de “imágenes fantasmas”. En la Figura 9 son ilustrados diferentes patrones de imágenes fantasmas en la visualización de una fuente sonora puntual en algunas de las matrices presentadas anteriormente en la Figura 8. En términos generales podemos siempre definir la banda dinámica de operación de una matriz por el NMLL. Siendo ese, entonces, el mejor parámetro para cuantificar la capacidad que una matriz de micrófono tiene para suprimir imágenes fantasmas.

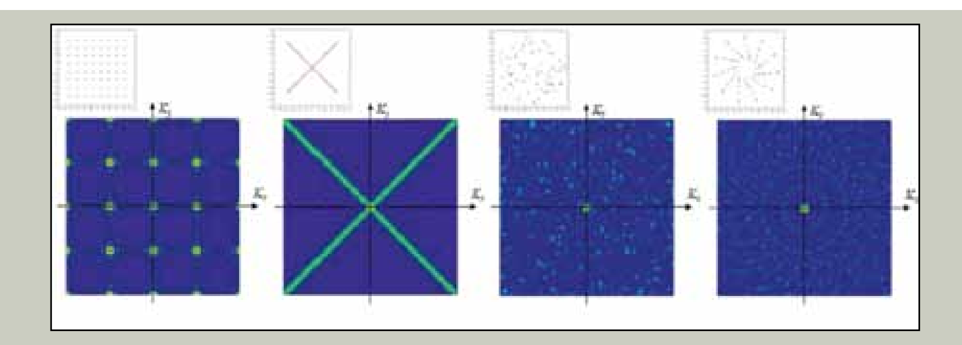


Figura 9. *Visualización de los lóbulos responsables por el patrón de las imágenes fantasmas en diferentes geometrías de matrices.*

APLICACIONES

Aplicaciones Aeronáuticas

La utilización de la técnica de beamforming para la identificación de las fuentes de ruido fue inicialmente explorada por la industria aeronáutica. La primera aplicación de una matriz de micrófonos fue hecha en el estudio de ruido aerodinámico de modelos de aeronaves en túneles de viento [2]. Inicialmente, la emisión acústica no era visualizada, apenas la técnica era empleada para evaluar los niveles de emisión en direcciones pre-definidas, utilizando el beamforming como un filtro espacial.

Actualmente, estudios como el de Ravetta [4] muestra el estado del arte en el proceso de identificación de fuentes de ruido en túneles de viento. En este trabajo, la emisión de ruido fue estudiada utilizando un modelo del tren de aterrizaje en escala de 26% de un Boeing 777 y la matriz utilizada presentaba 63 micrófonos distribuidos en un patrón espiral.

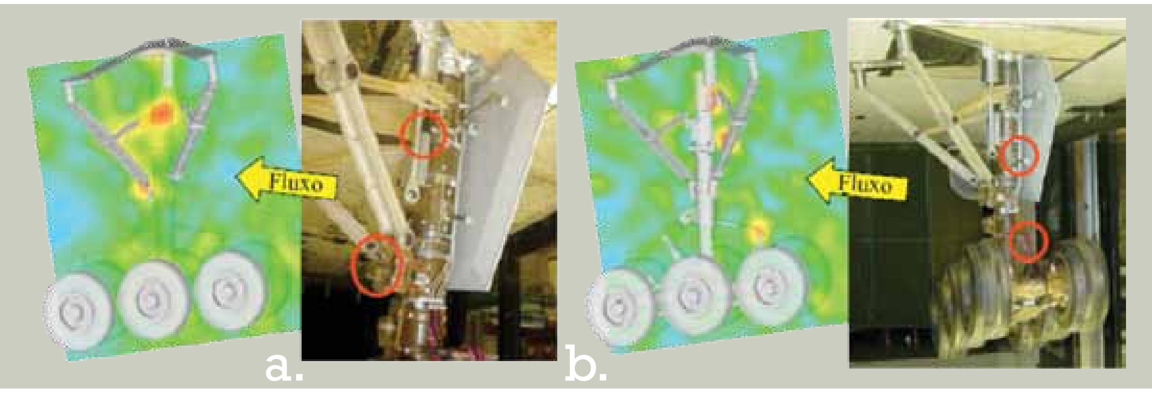


Figura 10. *Identificación de las fuentes de ruido en a) 5160 Hz y b) 5792 Hz del modelo en escala de un tren de aterrizaje.*

El objetivo del trabajo de Ravetta fue identificar las mayores fuentes de ruido y determinar medidas de control. La Figura 10 muestra ejemplos de la identificación de las fuentes de ruido, donde las manchas rojas indican las regiones con mayores niveles de emisión acústica.

En los últimos años, además de las mediciones en túneles de viento, algunos trabajos fueron presentados realizando mediciones en campo libre con aeronaves reales. El objetivo es identificar las fuentes de ruido durante el paso de las aeronaves en ensayos de *fly-over*.

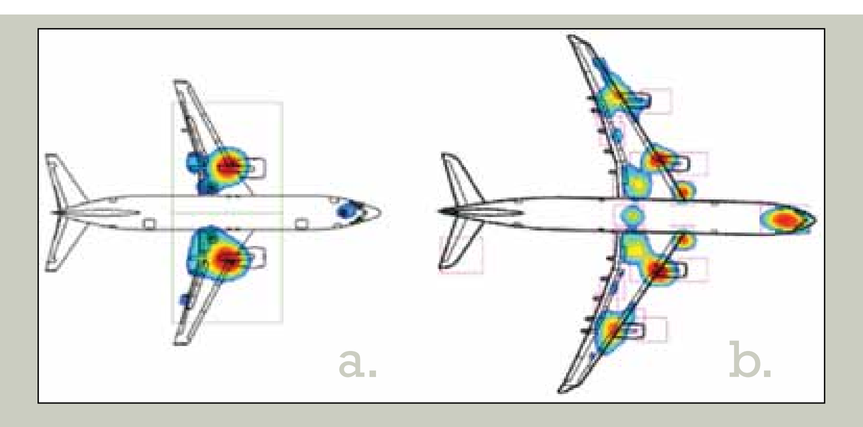


Figura 11. *Imágenes acústicas de (a) un Boeing 737-400 y (b) de un Airbus 340; ambas en 2000 Hz en banda de 1/3 de octava.*

En septiembre de 2002, mediciones de ese tipo fueron hechas en aeronaves durante el aterrizaje en el Aeropuerto de Ámsterdam "Schiphol" [5]. Durante tres días de mediciones, 484 eventos fueron grabados con éxito, en los cuales diversos tipos de aeronaves fueron evaluadas. La matriz usada para el test mide 6 metros de diámetro conteniendo 243 micrófonos y fue posicionada a aproximadamente 750 metros de la pista de aterrizaje. Fue utilizado también un sistema de sensores capaces de determinar la altitud y la velocidad de cada aeronave en cada uno de los eventos.

La matriz usada para el test mide 6 metros de diámetro conteniendo 243 micrófonos y fue posicionada a aproximadamente 750 metros de la pista de aterrizaje.

Un trabajo utilizando los datos obtenidos en estos ensayos sirvió para realizar el procesamiento de los algoritmos de beamforming acrecentando una técnica capaz de determinar valores absolutos de regiones distintas [6]. Siendo así posible evaluar la contribución de cada una de las fuentes en el ruido total durante el paso de la aeronave. Además de eso, el procesamiento utilizado en este trabajo incluye la corrección del desvío de frecuencia en función del efecto Doppler.

Podemos visualizar en la Figura 11 (a) el resultado de la medición de un Boeing 737-400 a una altitud de 40 metros a una velocidad de 76 m/s. En la Figura 11 (b) es presentado el resultado obtenido de un Airbus 340 sobrevolando a una altitud de 44 metros a una velocidad de 68 m/s.

Aplicaciones automotoras

Diversos resultados presentados por empresas e instituciones como ACB Engineering [7], Brüel & Kjær [8], GFai [9], demuestran la eficiencia de la técnica de beamforming en la identificación de fuentes de ruido automotoras.

La Figura 12 muestra el análisis hecho en medias y altas frecuencias del ruido del compartimento de un motor de un automóvil [8]. La matriz utilizada en esa aplicación tiene 66 micrófonos, mide un metro de diámetro y su geometría es semejante a la presentada en el ítem (e) de la Figura 8. Además de eso, esa matriz presenta un NMLL de -10,4 dB para imágenes hasta 21 kHz.

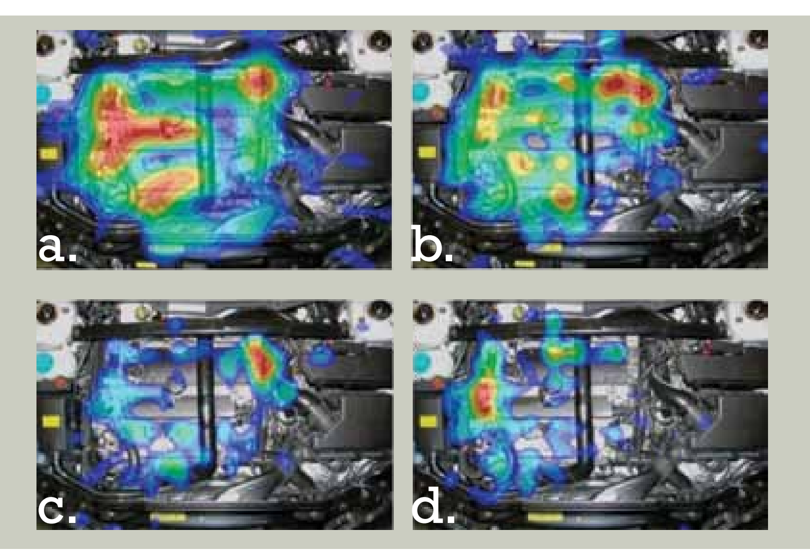


Figura 12. *Ejemplo del motor de un automóvil para las siguientes bandas de 1/3 de octava: (a) 3150 Hz, (b) 4000 Hz, (c) 5000 Hz y (d) 6300 Hz; las imágenes presentan resolución de 10 cm, 8 cm, 6 cm y 5 cm, respectivamente [12].*

Ensayos con vehículos en movimiento también presentan buenos resultados. El trabajo presentado por Crewe [7] presenta los detalles de la aplicación incluyendo el post-procesamiento necesario para la compensación del efecto Doppler. La matriz de 64 micrófonos utilizada en las mediciones es presentada en la Figura 13 (a) y uno de los resultados es mostrado en la Figura 13 (b). El ejemplo indica que en frecuencias entre 3000 Hz y 4500 Hz la predominancia está en el ruido de contacto neumático/carretera y en el ruido causado por el flujo aerodinámico en el retrovisor lateral para la velocidad en que el ensayo fue realizado.

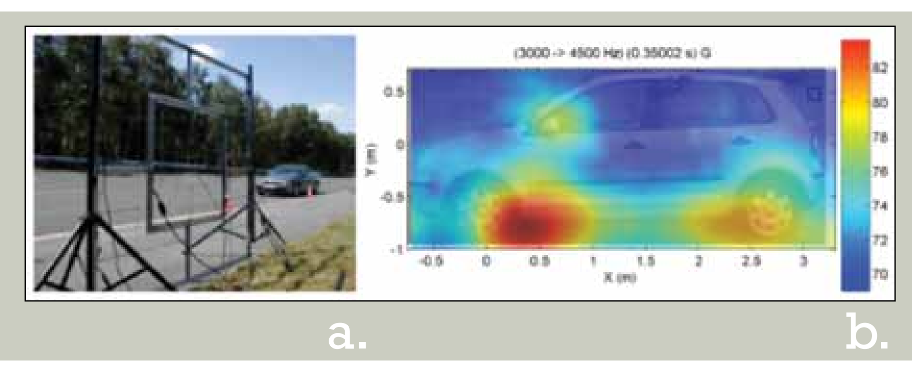


Figura 12. *Matriz irregular (a) utilizada en mediciones realizadas durante el paso de automóviles y un ejemplo de imagen acústica obtenida (b).*

Un procedimiento para la realización del beamforming durante el ensayo de *pass-by* estandarizado es descrito por Kook [10]. El trabajo muestra buenos resultados, igualmente utilizando un número reducido de micrófonos.

Para la implementación de un sistema completo de beamforming fue realizada una investigación para que las necesidades de proyecto atendiesen los límites de ruido y pérdida de señal, para las bandas de frecuencias soportadas para un sistema de 32 canales. En el desarrollo fue considerada la utilización de una plataforma flexible, que también atendiese las limitaciones de costo del proyecto. La descripción del sistema es presentada a continuación.

Hardware y sistema de medición

Uno de los puntos relevantes de la tecnología desarrollada fue el de obtener un sistema de costo relativamente bajo que tornase viable el uso de la técnica en el Brasil. En esta intención todos los detalles del proyecto también fueron verificados con atención para garantizar la calidad de las mediciones. La Figura 14 muestra un esquema simplificado del sistema completo.

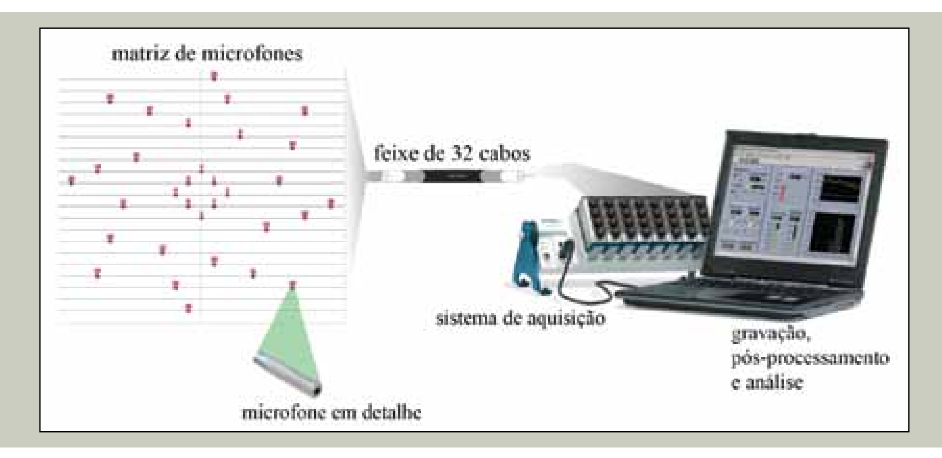


Figura 14. *Esquema simplificado de la cadena de medición del sistema de beamforming.*

Micrófonos

Los micrófonos utilizados son de la marca Panasonic modelo WM-61A, siendo cápsulas de electret omnidirecionales, con respuesta en frecuencia aproximadamente plana. Además de eso, los micrófonos fueron escogidos por ser de bajo costo, por atender la banda de frecuencia audible, ser pequeños y tener una relación señal ruido suficientemente eficaz al ser acoplados a un circuito electrónico simple para amplificación de la señal recibida. Estos micrófonos son los mismos que los utilizados en trabajos en la NASA y Boeing. El análisis de su performance en sistemas de beamforming es comprobada por el trabajo de Humphreys [11].

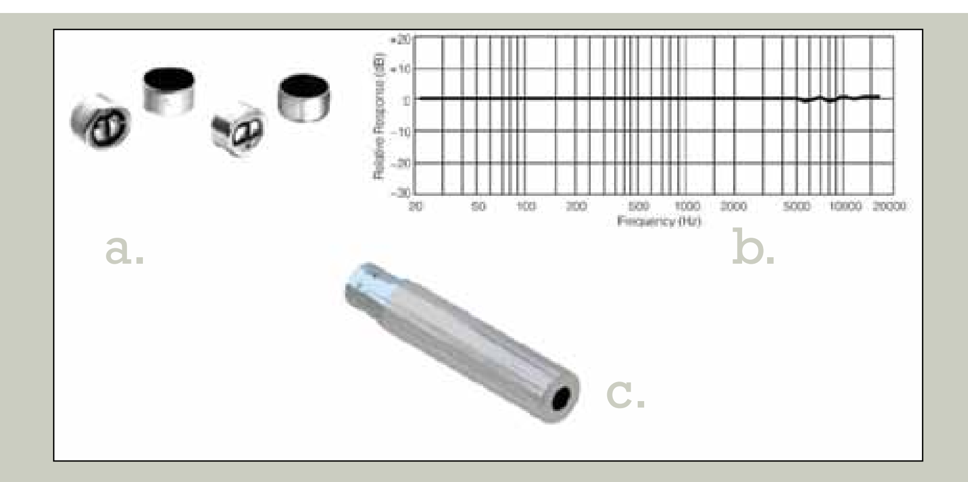


Figura 15. *Cápsula del micrófono WM-61A (a); Característica de respuesta en frecuencia del WM-61A (b); Micrófono completo (c).*

Cables de interconexión

Como la banda de estudio es del orden de máximo 20 kHz, no hay preocupaciones en cuanto a pérdidas en el cable,…

Para la transmisión de señales se utilizó cables coaxiales por el hecho de poder reducir los efectos de señales externas, tales como señales eléctricas y magnéticas. Como la banda de estudio es del orden de máximo 20 kHz, no hay preocupaciones en cuanto a pérdidas en el cable, pues ellas son insertadas a partir del orden de 1 MHz y consideradas para 30 metros.

El cable escogido fue el RG-174/U debido tener una capacitancia baja y una mayor velocidad de propagación, esto resultará en un cable con características de pérdida bajas y atenuación reducida de la señal. Fue escogido también por el hecho de tener un diámetro reducido, lo que proporciona una mejor manipulación del conjunto de cables. Una representación del cable es mostrada en corte con su estructura en capas en la Figura 16.

Las sueldas de los terminales fueron hechas con suelda plata lead-free, que además de ser ecológicamente correcta, también evita la formación de cristales en la juntura, lo que podría generar pérdidas.

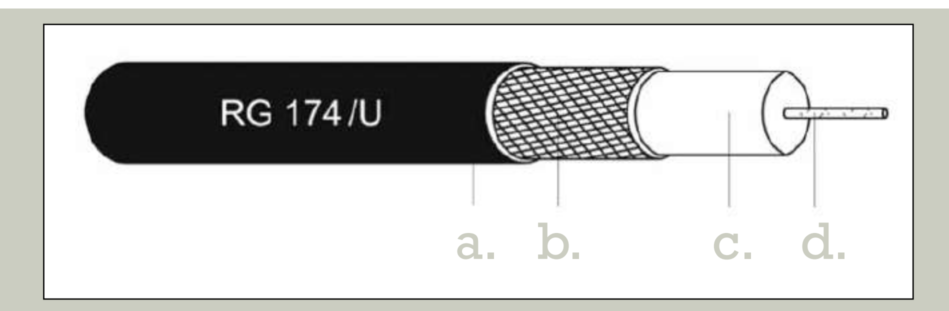


Figura 16. *Representación en corte del cable RG 174/U presentando la protección externa (a), malla de protección (b), aislante (c) y conector central (d).*

Sistema de adquisición de datos

Para hacer la adquisición simultánea de 32 canales, se buscó un sistema que atendiera las exigencias de muestreo y discretización; así, el sistema adoptado fue el NI cDAQ-9172 en conjunto con 8 módulos de 4 canales NI-9233, que tiene capacidad para trabajar con 24 bits y tasa máxima de 50 KHz por cada canal, Figura 17. Este sistema también puede ser usado para numerosos tipos de medición y el procesamiento y análisis pueden ser implementados en LabVIEW.



Figura 17. *Módulo de adquisición 4 canales (a) y sistema completo cDaq con los 8 slots (b) – Total 32 canales.*

Matriz de micrófonos

Después de simulaciones numéricas y revisiones bibliográficas fue elaborada una matriz óptima para trabajar con 32 canales utilizando los micrófonos de bajo costo. La geometría escogida, en forma de espiral, es representada en la Figura 18.

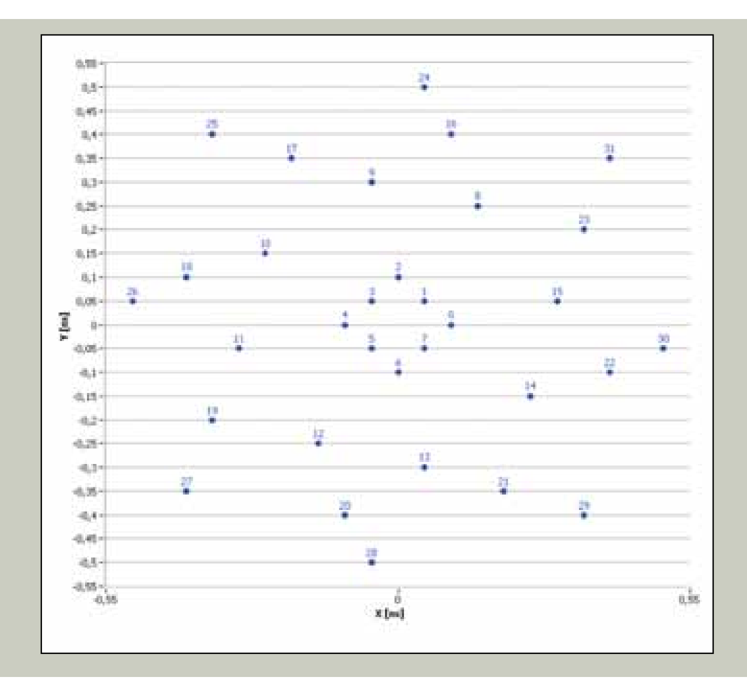


Figura 18. *Distribución de los 32 micrófonos en la geometría espiral utilizada en la matriz.*

Para esta geometría tenemos el resultado de imágenes computacionales simuladas para una región monopolar colocada a un metro de distancia del centro de la matriz de micrófonos, en el cual es posible visualizar los lóbulos que definen el patrón de las imágenes fantasmas. La matriz utilizada presenta un NMLL de -7 dB para imágenes hasta 20 kHz.

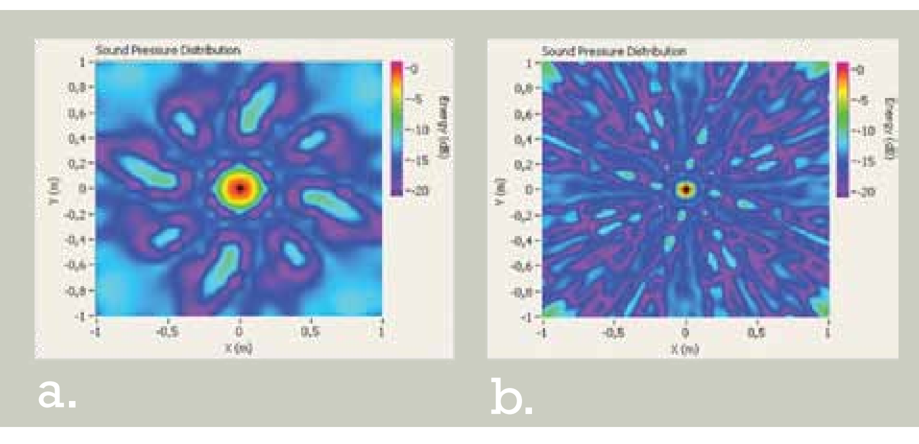


Figura 19. *Patrón de los lóbulos laterales de la matriz cuando esta sujeta a una fuente puntual en 1000 Hz (a) y en 5000 Hz (b).*

Calibración con fuente sonora

…es posible implementar correcciones relativas a la estimación de la magnitud y fase en cada canal de adquisición de datos.

Es importante destacar que el sistema utiliza procedimientos de calibración de la matriz de micrófonos a través de fuentes sonoras de referencia. Un procedimiento consiste en colocar una fuente sonora al frente del centro de la matriz para evaluar la respuesta de cada canal a un mismo estimulo acústico. Con eso, es posible implementar correcciones relativas a la estimación de la magnitud y fase en cada canal de adquisición de datos. En este modo de calibración, la calibración individual de los transductores no es necesaria.

Otro procedimiento utilizado para hacer el alineamiento de la imagen acústica con la imagen fotográfica, consiste en colocar dos fuentes sonoras, capturando una imagen fotográfica y realizando nuevas mediciones es posible alinear con seguridad las imágenes acústicas con la fotografía del objeto en análisis.

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES

Muchas aplicaciones ya demuestran la eficiencia de la técnica de beamforming en el proceso de identificación de fuentes de ruido aeronáuticos y automotrices. En la última década fue posible observar el gran aumento de su utilización en ensayos, principalmente con vehículos en movimiento. El relativo bajo costo asociado a la implementación del sistema es comprobado por los trabajos realizados en la UFSC, indicando la viabilidad de la utilización de ese tipo de sistema en el Brasil. Una consideración importante está en la posibilidad de utilizarse nuevas técnicas de procesamiento de la señal para mejorar el análisis después de la realización de los ensayos, tratándose entonces de una etapa de post-procesamiento. Los mayores desafíos actualmente están en la investigación del uso de métodos adaptativos y paramétricos de procesamiento de señales en matrices de sensores, como por ejemplo, MUSIC, ESPRIT, RELAX y CLEAN. Con esos métodos es posible mejorar aún más la resolución y la banda dinámica asociada a las imágenes acústicas.

REFERENCIAS

[1] Van Veen, B. D. and Buckley, K. “Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filtering”, IEEE ASP Magazine, April 1988, pp. 4-24.

[2] Soderman, P. T. and Noble, S. C. “A Directional Microphone Array for Acoustic Studies of Wind Tunnel Models”, AIAA Paper 74-640, AIAA Aerodynamic Testing Conference, 8th, Bethesda, Md., July 8-10, 1974.

[3] Johnson D. H. and Dudgeon D. Y. “Array Signal Procesing: Concepts and Techniques”, Prentice Hall, New Jersey, 1993.

[4] Ravetta, P. A.; Burdiso, R. A. and Ng, W. F. “Wind Tunnel Aeroacoustic Measurements of a 26%-scale 777 Main Landing Gear Model”, AIAA Paper 2004-2885, AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 10th, Manchester, Great Britain, May 10-12, 2004.

[5] Sijtsma, P. and Wal, H. M. M. van der “Identification of noise sources on civil aircraft in approach using a phased array of microphones”, NATO Paper SET-079-24, published in RTO-MP-SET-079, April 2004

[6] Sijtsma, P. and Stoker, R. W. “Determination of Absolute Contributions of Aircraft Noise Components Using Fly-over Array Measurements”, AIAA Paper 2004-2958, AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 10th, Manchester, Great Britain, May 10-12, 2004.

[7] Crewe, A.; Perrin, F.; Benoit, V. and Haddad, K. “Real-Time Pas-by Noise Source Identification Using A Beam-Forming Approach”, SAE Paper 2003-01-1537, SAE 2003 Noise & Vibration Conference and Exhibition, Grand Traverse, MI, USA, May 2003.

[8] Christensen, J.J. and Hald, J. “Beamforming” Technical Review En el. 1, Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 2004.

[9] Society for the Promotion of Applied Computer Sciences. Disponible en: www.acoustic-camera.con

[10] Kook, H.; Moebs, G. B.; Davies, P. and Bolton, J. S. “An Efficient Procedure for Visualizing the Sound Field Radiated by Vehicles During Standarized Pasby Tests” SAE 1999.

[11] Humphreys, W.; Gerhold, C.; Zuckerwar, A.; Herring, G. and Bartram, S. “Performance Analysis of a Cost-Effective Electret Condenser Microphone Directional Array” AIAA Paper 2003-3195, AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference and Exhibit, 9th, Hilton Head, South Carolina, May 12-14, 2003.

[12] Samir N.Y. Gerges, Ruidos y Vibraciones Vehiculares, 750 páginas, A4, NR Editora, www.ruido.ufsc.br.

ELABORACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA

PARA LA APLICACIÓN DE LA ACÚSTICA FORENSE MEDIANTE SOFTWARE DE RECONOCIMIENTO DE LA VOZ HABLADA

Jonathan Paúl Calvache F.
jonathan_calvache@hotmail.com

Luis Francisco Sigcha G.
luiss_f@hotmail.com

Universidad de Las Américas, 2011
Quito, Ecuador.

Recepción, aceptación y versión final:
Abril / 2011
SONAC, pp. 95-101

Resumen

El presente trabajo es un aporte técnico hacia la labor judicial en el área del peritaje acústico, procurando solventar las deficiencias observadas mediante una exhaustiva investigación para la creación de una nueva guía metodológica con el fin de que sea utilizada en Ecuador por peritos en el análisis de voz. Parte del desarrollo de esta tesis es crear un programa computacional utilizando el lenguaje de programación Max MSP, el programa en cuestión se denomina "Static Tone" que es capaz de identificar a una persona dentro de un grupo de personas previamente analizadas por medio del análisis estadístico de la frecuencia fundamental de la voz.

Palabras clave: Peritaje Acústico, reconocimiento de voz.

Abstract

This work is a technical contribution to the judicial work on the acoustics, trying to resolve the deficiencies observed based on an exhaustive investigation for the creation of a new methodologic guide to be used in Ecuador, by experts in voice analysis. The development of this thesis is the creation of a computer program using the programming language called Max MSP, that is able to identify a person within a group



of people previously analyzed by the statistical analysis of the voice fundamental frequency.

Keywords: Acoustics Judicial Works, Voice Recognition.

Antecedentes

El trabajo muestra la situación actual del Ecuador mediante un análisis detallado de las actuales falencias en el peritaje acústico, para la realización de correcciones y mejoras para hacer más eficiente este proceso. La acústica forense es una subdivisión de la criminalística, que se encarga de dar apoyo logístico a la labor policial en el esclarecimiento de hechos con la validación científica de evidencia para los tribunales. Actualmente se pueden encontrar herramientas muy sofisticadas, las que posibilitan un análisis eficiente del audio, ya que han habido avances científicos tanto en el procesamiento digital de señales, el desarrollo de software y la electroacústica, que facilitan enormemente la implementación de este nuevo tipo de servicio para el país.

Actualmente se pueden encontrar herramientas muy sofisticadas, las que posibilitan un análisis eficiente del audio, ya que han habido avances científicos tanto en el procesamiento digital de señales…

Este trabajo abarca en su mayoría el comportamiento, ejecución, procesamiento y análisis de la voz humana hablada como tal, mencionando conceptos importantes como el estudio de la frecuencia fundamental, las formantes, fonética, procesos penales vigentes en el Ecuador, así como su aplicación en una guía metodológica y principios acústicos de programación.

Desarrollo

Para poder realizar una guía metodológica, fue necesaria la investigación de campo, y el uso de con material bibliográfico proveniente de los sitios web de profesionales en el campo laboral.

Durante el desarrollo de la guía metodología se pudo conocer cómo se realizan las tareas de peritaje acústico en el Ecuador, proceso que se realiza normalmente, pero con falencias, debido al poco conocimiento popular de este tipo de servicio, entre otros.

Diseño

Se utilizan las características físicas y de comportamiento de la voz de un individuo para crear modelos biométricos que serán utilizados para tareas posteriores de comparación y reconocimiento. Después de obtener modelos matemáticos que representan las características de distintas señales de voz, se procede a determinar si una o varias muestras de voz tienen cierta semejanza, o pertenecen a algún modelo de voz previamente analizado. A este conjunto de procesos se les denomina sistema de reconocimiento automático de locutor.

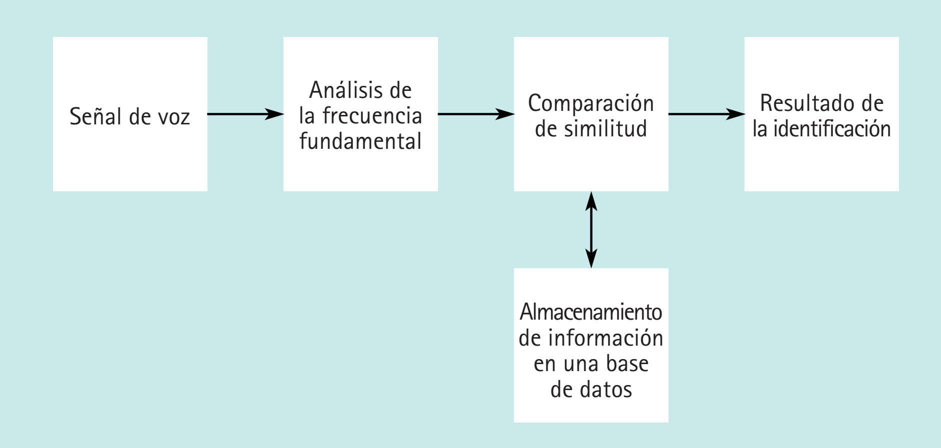


Figura 1. *Esquema del algoritmo de reconocimiento de locutor.*

Para la realización del análisis digital de una señal existen varias opciones de entrada al sistema: señales de línea, señales directamente desde un micrófono (incorporado o externo) y carga de archivos de audio en formatos estandarizados (.aiff, .aif, .snd, .wav).

Determinación de la frecuencia fundamental.

La frecuencia fundamental F0 o pitch, es una de las principales características para la identificación de un locutor, en el ámbito forense puede ser determinada midiendo la velocidad con que se abren y cierran las cuerdas vocales durante la fonación de sonidos sonoros, también se puede estimar la frecuencia fundamental mediante el análisis digital usando un algoritmo computacional.

Una vez que la señal ha sido digitalizada se realiza el análisis FFT mediante un objeto analyzer~, creado por Tristan Jehan; es un objeto en cuya salida se pueden obtener valores de amplitud, frecuencia fundamental o F0 de un sonido complejo, o bien un conjunto simultáneo de estos valores. Las F0 estimadas son analizadas estadísticamente utilizando el objeto lp.stacey obteniéndose los siguientes datos: Frecuencia promedio, frecuencia mínima, frecuencia máxima, desviación estándar, oblicuidad (skewnees) y curtosis.

Comparación de similitud.

En esta etapa se buscan similitudes entre las personas analizadas y las registradas en la base de datos, mostrando en su salida el nombre o identificación utilizados previamente en el proceso registro en la base de datos. Para determinar la similitud entre datos estadísticos de cada persona se las compara automáticamente utilizando la distancia del coseno utilizando el objeto zsa.dist creado por Mikhail Malt y Emmanuel Jourdan.

Para una fácil utilización de la aplicación se diseñó una interfaz de usuario que sigue un orden lógico de procesamiento de la información, mismo que va de izquierda a derecha.



Figura 2. *Interfaz de usuario principal del programa Static Tone.*

Pruebas de funcionamiento

Keele Pitch Database.

Es una base de datos de voz usada para evaluar algoritmos de reconocimiento del pitch, fue creada por el Departamento de Comunicación y Neurociencia, y el Departamento de Ciencias Computacionales de La Universidad Keele del Reino Unido. La base de datos está compuesta de 10 locutores con habla nativa inglesa, cinco de ellos hombres y cinco mujeres, con edades entre 20 y 60 años; la lectura del texto tiene una duración de 27 a 40 segundos. Las grabaciones de voz poseen una frecuencia de muestreo de 20 kHz, una profundidad de 16 bits y utilizan un solo canal.

Resultados

Resultados del de la estimación del pitch y comparación con el programa PRAAT.

Para comprobar la funcionalidad del programa en la estimación del pitch, se analizaron los datos estadísticos de la frecuencia mínima, máxima y promedio de las 10 muestras de voz de la base de datos Keele, y se compararon los resultados con los obtenidos al analizar las mismas voces con el programa gratuito PRAAT.

CANDIDATOS	PRAAT			STATIC TONE		
MUJER	PROMEDIO	MIN	MAX	PROMEDIO	MIN	MAX
1	191,2	76,4	495	177,59	76	484
2	228,9	76	485	209,26	76	484
3	191,2	76,3	488	181,97	77	467
4	235,5	76,89	484,7	228,97	76	493
5	231,7	76,8	470	210,2	76	444
HOMBRE	PROMEDIO	MIN	MAX	PROMEDIO	MIN	MAX
1	106,1	76	479,9	113,05	76	378
2	138,7	76,2	462	142,44	76	463
3	135,8	85,7	184	141,53	76	272
4	95,13	76	431	108,02	76	336
5	108	76,4	181	122,44	76	364

Tabla 1. *Datos estadísticos de la frecuencia fundamental analizados en los programas PRAAT y Static Tone.*

Se utilizó la duración completa de cada muestra así como de fracciones de esta para la realización este análisis.

Para comprobar la funcionalidad del programa en la identificación de personas, se utilizó la base de datos Keele. Para esto se analizaron las muestras y se registraron los datos estadísticos de los diez individuos en la base de datos, posteriormente se verificó si la identificación realizada por el programa es correcta, o si este asume que es otro individuo. Se utilizó la duración completa de cada muestra así como de fracciones de ésta para la realización del análisis.

TIEMPO DE MUESTRA				
MUJER	COMPLETA	30 seg.	20 seg.	10 seg.
1	√	√	√	√
2	√	√	√	√
3	√	√	√	√
4	√	√	x	x
5	√	√	√	√
HOMBRE	COMPLETA	30 seg.	20 seg.	10 seg.
1	√	√	√	√
2	√	√	√	x
3	√	x	x	x
4	√	x	x	x
5	√	√	√	√

Tabla 2. *Resultados de acierto en la identificación dependiente del tiempo.*

Análisis de resultados.

Por lo observado en la Tabla 1, la comparación entre el programa PRAAT y el programa elaborado Static Tone, se determino que la variación máxima entre resultados de la frecuencia fundamental es de 20 Hz. Se puede apreciar que no existe mucha variación de resultados en la frecuencia mínima y máxima, esto debido a que se limitó de igual manera a frecuencias estimadas entre los 75 Hz y los 500 Hz.

Por lo observado en la Tabla 2, los factores de éxito del programa Static Tone son dependientes del tiempo de análisis de la muestra y de

la inteligibilidad del audio registrado, como la mayoría de softwares comerciales. Al utilizar la base de datos Keele Pitch para el análisis completo de la muestra, el programa Static Tone fue capaz de identificar con un 100% de efectividad la identidad de los locutores, mientras que utilizar los primeros 30 segundos de la muestra se determinó que hay un 80% de efectividad en la identificación, para 20 segundos hay un 70% de efectividad en la identificación y para los primeros 10 segundo hay una efectividad del 60%.

Tras analizar todos los resultados se concluye que Static Tone es un programa efectivo para la identificación de locutores basado en el análisis de la frecuencia fundamental y comparación automatizada con una base de datos de locutores previamente analizados y registrados, su principal característica es la capacidad de realizarlo en tiempo real.

Conclusiones

- En la realización de la guía metodológica se logró unificar los conceptos técnicos referentes al audio, fonética y procedimiento judicial recopilados de distintas bibliografías con el fin de crear un nuevo documento que podrá ser utilizado como referencia estandarizada para futuros peritos que se dediquen al análisis de voz en el Ecuador.

- Se diseña una guía metodológica basada en la operación actual de organismos competentes en el Ecuador, añadiendo información relevante proveniente de una investigación técnica, y proponiendo al documento como uno de los primeros de este tipo en el campo forense ecuatoriano.

- Al momento de recopilar información se pudo determinar una gran cantidad de bibliografía referente a la identificación de locutores con fines forenses en el aspecto técnico, sin embargo, las metodologías de aplicación técnica estandarizadas son muy difíciles de encontrar o simplemente no existen, por lo tanto, se hizo necesario complementar con conocimientos de algunas ramas de la ciencia como jurisprudencia, tratamiento de audio, procesamiento digital de señales, investigación de campo, entre otros.

- Es posible el desarrollo de software capaz de identificar al locutor utilizando el método de la estadística de la frecuencia fundamental, usando el lenguaje Max MSP por lo que se puede desarrollar en mayor, escala trabajando en nuevas funciones y operaciones.

- Se obtuvo un alto porcentaje en la identificación del locutor debido a la utilización de muestras de voz de excelente calidad, por lo tanto puede existir un mayor margen de error en el caso

de que se utilice muestras con poca calidad.

- La creación del software Static Tone se facilitó en gran medida por la ayuda de objetos gratuitos para Max MSP, haciendo que el desarrollo de nuevos softwares en varias áreas del audio sea viable en muchos sentidos.

Referencias

Libros

[1] Miyara, Federico, Acústica y Sistemas de Sonido, Tercera Edición, Editora de la Universidad Nacional de Rosario, 2003.
[2] Harris, Cyril, Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control, Tercera Edición, Acoustical Society of America (A.S.A.).
[3] Fonética Acústica de la Lengua Española. Dr. D. Antonio Quilis Morales. Biblioteca Románica Hispánica. Editorial Gredos, Madrid. 1981.
[4] Forensic Phonetics, John Balwin & Peter French, Pinter Publishers, 1990 Londres y Forensic Speaker Identification, Philip Rose, Taylor and Francis Forensic Science Series, 2002.
[5] "Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists", C.G.G. Aitken y F. Taroni, John Wiley & Sons, 2ª edición, 2004.
[6] Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido, Cyril M. Harris, Editorial McGraw-Hill, 3ª edición, Diciembre 1995.

Artículos y notas técnicas

[7] Redvet, Vol. VIII, Nº 4, Metodología de trabajo del perito forense veterinario (Methodology of work of veterinary expert forense), Abril 2007.
[8] Forensiclab, informe pericial de análisis de voz, Jordi Cicres Bosch, 29 de mayo de 2006.
[9] Ingeniería Acústica aplicada a la Criminalística "Acústica Forense", Eduardo Andrés Pérez Bello, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile 2008.
[10] La Inteligibilidad del Habla (Parte 1), Ralph Jones, Meyer SOUND, 2009.
[11] Análisis Discriminante de un Conjunto de Parámetros Fonético Acústicos de las Pausas Llenas para Identificar Hablantes, J. Cicres Síntesis Tecnológica. V.3 Nº 2 (2007) 87-98.
[12] Reconocimiento de Locutor Dependiente de Texto Mediante Adaptación de Modelos Ocultos de Markov Fonéticos, Cristina Esteve Elizalde, Universidad autónoma de Madrid, 2007.
[13] Mezcla y Masterización II, Secretaría de Extensión, Facultad de Bellas Artes, UNLP, 2009.
[14] Fundamentos Básicos del Reconocimiento de Voz, Cristian Martínez Bernaldo de Quirós. 2005.
[15] La Acústica Forense, José Juan Lucena Molina Comandante de la Guardia Civil. Jefe del Departamento de Acústica e Imagen del Servicio de Criminalística de la Guardia Civil, Instituto Universitario de Investigación sobre Seguridad Interior, 2005.
[16] Algoritmos y Métodos para el Reconocimiento de Voz en Español mediante Silabas, José Luis Oropesa Rodríguez, Segui Suarez Guerra, México, 2006.
[17] Batvox: Sistema Automático de Reconocimiento de Locutor, Beatriz González Sigüenza, EFE, ISSN 1575-5533, XVII, 2008, pp. 301-316.
[18] A Pitch Extraction Reference Database, F. Plante, G.F. Meyer, W.A. Ainsworth Fabrice, Dept of Communication and Neuroscience Keele University, 1995.
[19] Fusión de Sistemas de Reconocimiento Basados en Características de Alto y Bajo Nivel, Mireia Farrús, Jan Anguita, Javier Hernando, Ramón Cerda, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Barcelona, 2005.

Artículos de Internet

[20] Informes Periciales, http://www.iula.upf.edu/forensiclab
[21] Acústica Arquitectónica: El Tiempo de Reverberación, Ing. Alejandro Bidondo, inteligibilidad de la palabra, http://www.ingenieriadesonido.com
[22] Wikipedia, Max (programa), http://es.wikipedia.org/wiki/Max_(programa), 2009, 16/06/2009.
[23] Fundamentos para el Reconocimiento de Voz y Anuncios Varios para la Web, http://www.adictosaltrabajo.com/tutoriales/tutoriales.php?pagina=complementor
[24] Wikipedia, Espectro de frecuencias, http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_de_frecuencias, 2009, 24/04/2009.

DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE UNA APLICACIÓN

DE COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE MICROFONÍA PARA CONJUNTOS DE INSTRUMENTOS DE CUERDAS

Xavier Zúñiga,
x.zuniga@udlanet.ec

Universidad de Las Américas
2010
Quito - Ecuador



Recepción, aceptación y versión final:
Abril / 2011
SONAC, pp. 103-111

Resumen

El desarrollo de una aplicación de comparación de técnicas de microfonía para conjuntos de instrumentos de cuerdas ayudará a un mejor aprendizaje para estudiantes.

Para esto se debe grabar las muestras de audio que luego se ocuparán en la aplicación, es preciso escoger técnicas de captación que resulten en diferentes sonoridades del instrumento y con la ayuda de músicos se procedió a la grabación de dichas muestras.

Posteriormente se realiza el diseño y la programación, usando el software Adobe Flash CS4 como herramienta para construir la aplicación.

Terminadas estas dos fases se obtiene una aplicación que posee distintas herramientas como un botón para poder realizar comparaciones mono/estéreo, funciones de "mute" para cada muestra, para que sus usuarios puedan sacar todo el provecho de las técnicas planteadas y en la práctica, con sus conocimientos, puedan realizar grabaciones de una manera más eficiente.

Palabras Clave: comparaciones técnicas de microfonía, sonoridad, grabación.

Abstract

The development of a microphone techniques comparison application for string instruments contributes in the intellectual development for students.

The first step to develop this proyect is recording the audio samples which will be occupied in the application, for this reason the microphone techniques are chosen for those which offer the most different sound of a single instrument.

The second step is the design and programming of the application. To do so, the Adobe Flash CS4 software is used as an essential tool to develop the application. Once the application is designed, the programming language Action Script 2.0 is used to make the application as functional as possible.

The result is an application with tools like, a mono-stereo button to ensure comparison, a mute button per sample. It's users can take all the advantages of the planned techniques and in practice make recordings in a more effective way.

Keywords: microphones techniques comparations, loudness, recording.

Antecedentes

Los estudiantes de la Facultad de Ingeniería tienen la necesidad de acceder a la manipulación de los micrófonos, siendo necesario la implementación de un sistema de fácil acceso académico, el cual complemente los conocimientos básicos que se imparten en distintas asignaturas dedicadas a la producción musical y las técnicas de grabación sonora dentro de la malla de estudios vigente.

En lo referente a lo económico es relevante indicar que se necesita contar con un gran capital para realizar grabaciones completamente profesionales debido a que se pueden gastar muchas horas en un estudio de grabación

Es importante también mencionar que la exploración musical en la ciudad de Quito tiene ciertas falencias en la calidad de sonido, que se pueden apreciar en algunas producciones, por tal motivo es importante desarrollar una propuesta que permita un mejor nivel en la calidad del proceso de grabación. En lo referente a lo económico es relevante indicar que se necesita contar con un gran capital para realizar grabaciones completamente profesionales, debido a que se pueden gastar muchas horas en un estudio de grabación, muchos músicos que están en proyección no poseen dicho capital, pero con una herramienta que por medio de muestras pregrabadas pueda informar al usuario del sonido resultante de un instrumento aporta valiosamente para que en la

práctica pueda realizar grabaciones en un menor tiempo, facilitando su incursión musical.

En la actualidad, la tecnología ha revolucionado todos los campos, afectando severamente a las grabaciones musicales, que no se quedan atrás en esta revolución, para este trabajo se piensa en una herramienta de técnicas de grabación que tenga la ventaja de ser transportada fácilmente en un DVD o en una memoria flash, para que la gente que está interesada en el tema pueda recurrir fácilmente a ésta bajo las plataformas Mac OS X y Windows.

Con este antecedente se diseña una aplicación para comparar diferentes técnicas de captación básica, utilizando diferentes micrófonos de distintas características. Debido a la diversidad de micrófonos que existen en el mercado; ninguno se parece a otro, dando así a las señales grabadas un timbre diferente; cada músico puede jugar con la ubicación de los micrófonos para obtener un sonido característico.

Desarrollo

Selección de instrumentos.

Para la realización de este proyecto de tesis se han escogido instrumentos de cuerdas, en buenas condiciones para interpretación según los músicos que los utilizan como herramientas de su trabajo. También se han cerciorado que sus arcos se encuentren en buenas condiciones.

Selección de músicos.

Los músicos seccionados para interpretar las piezas que sirven como muestras de audio son miembros activos de la Orquesta Filarmónica de Quito. Los músicos han recibido una amplia formación musical, y poseen un amplio conocimiento de las técnicas de la interpretación de su respectivo instrumento.

Estudio de grabación.

El estudio escogido para la grabación de las muestras de audio es Mid-Side Music Studio, ubicado en la ciudad de Quito. Las razones por las cuales se escoge este estudio son por sus instalaciones, tecnología y equipos, para asegurar que las muestras no posean ruido de fondo ni algún tipo de distorsión. Mid-Side Music Studio se encuentra ubicado en las calles Granda Centeno y Mariano Egas, gracias a su ubicación el ruido de fondo del estudio es muy bajo, lo cual ayuda a que las muestras sean lo más fieles posibles. Las grabaciones se realizan en tres sesiones de cuatro horas, en el periodo de un mes.

Selección de micrófonos y técnicas a utilizar.

Para capturar todas las muestras de audio necesarias para la aplicación se utilizan dos micrófonos de condensador. Estos micrófonos han sido seleccionados por su disponibilidad y por sus costos, ya que si se utilizan micrófonos de alto valor, la probabilidad de que el usuario se encuentre con uno de estos dispositivos en la vida real es menor.

Los instrumentos a grabar son instrumentos de cuerdas, los cuales poseen un registro con muchas altas frecuencias, para esto se necesita micrófonos que tengan una respuesta de frecuencia plana en las frecuencias formantes de los instrumentos. Por esta razón se utilizan los siguientes micrófonos para las tomas de muestras de todos los instrumentos: AKG C414 B-XLS y Sennheiser e614.

Al momento de la grabación de las muestras se disponen de cuatro micrófonos de cada modelo, de esta manera se pueden grabar más muestras en menos tomas.

Estos dos tipos de micrófonos son ubicados en las mismas posiciones, de esta manera el usuario de la aplicación no solo puede comparar las distancias o posiciones de los micrófonos sino que además puede cambiar de modelo de micrófono. Al momento de la grabación de las muestras se disponen de cuatro micrófonos de cada modelo, de esta manera se pueden grabar más muestras en menos tomas.

Programación de la aplicación.

Esta aplicación es programada en Adobe Flash CS4, programa orientado al diseño web, diseño de software y aplicaciones interactivas. Se escoge este programa como herramienta para la programación de la aplicación MICO, por sus ventajas de animación, programación e interactividad.

Desarrollo de la línea principal de animación.

El primer paso en cualquier desarrollo de aplicación Flash de Action Script 2.0, es la creación de las ventanas contenedoras de los elementos interactivos, en este caso estas ventanas están desarrolladas por un sistema de *movieClips* animados, primero se anima la estructura principal del sitio para empezar a programar; la línea principal de animación se la realiza de la siguiente manera:

- Introducción.
- Home.
- Bases teóricas.
  - Micrófonos.
  - Técnicas.
  - Instrumentos.
- Galería.
- Comparación de técnicas.
  - Violín.
  - Viola.
  - Violonchelo.

- o Contrabajo.
- o Guitarra.
- o Ensamble de cuerdas.
- o Ensamble de guitarras.
- Agradecimientos.

Dentro de cada una de estas ventanas interactivas se programan cada uno de los elementos que se van a utilizar en la aplicación, como por ejemplo reproductores, controladores y botones de navegación.

Programación de elementos interactivos.

Se programan todos los botones para que el usuario pueda navegar en la aplicación, usando lenguaje reservado de *ActionScript 2.0*, principalmente las funciones onRelease (), onRollOver () y gotoandPlay (). Estos básicamente llevan a diferentes escenas o *frames* en la línea de tiempo programada en la aplicación. Para esto se aplica un *flag* a una escena específica para poder ubicarla más eficientemente. Para utilizar esto se debe llamar a la acción desde la raíz del sistema, por ejemplo:

"_root.programaRoot.comparacionOutro.cellotransicion1.movieparaRepcello.textoexplicacionbtncello1.gotoAndStop("reproductorcello")"

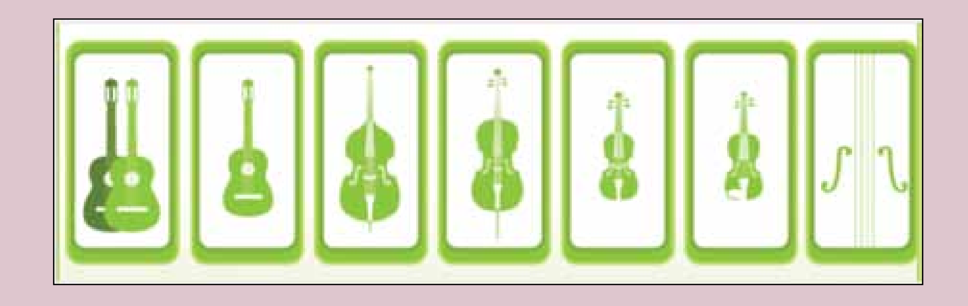


Figura 1. *Menú de selección de instrumentos.*

Secundariamente se asignan funciones a algunos botones de la interfaz que están controlados por la función *onRollOver*() para que empiecen una animación en un *movieClip* y que la aplicación sea más llamativa. También se agregan animaciones directamente en la línea de tiempo que no necesitan de una acción del usuario para su activación, como por ejemplo la introducción que es una animación que se activa automáticamente cuando el usuario entra en la aplicación, las transiciones entre ventanas, y la aparición de menús y controles.

Programación del reproductor de muestras.

Se procede a programar el reproductor el cual tiene la capacidad de reproducir varias muestras de audio sincronizadas, el reproductor posee las siguientes funciones:

BOTÓN	DESCRIPCIÓN
Play	Este botón al presionarlo carga y reproduce las muestras asignadas a ese reproductor con la función *attachSound*().
Stop	Este botón al presionarlo invoca la función *stopAllSounds*() cuando es activado.
Nivel	Este es un *slider* el cual regula el nivel de la muestra utilizando la función *setVolume*().
Pan	Este *slider* regula la intensidad por canal (derecho y/o izquierdo) utilizando la función *setPan*().
Mute	Al presionar este botón se invoca la función *setVolume*(0), así la pista se sigue reproduciendo pero es inaudible.
Mono	Este botón invoca la función *setPan*(0) para que las señales salgan por un solo canal. Sumando las señales para poder realizar una comparación Mono Vs. Estéreo.

Tabla 1. *Descripción de controles del reproductor.*

Para reproducir una cantidad de muestras de manera sincronizada se ocupa un solo botón de *play,* para que al momento de presionarlo todas las muestras deseadas se reproduzcan, lo mismo se aplica para el botón de *stop,* donde este detiene la reproducción vigente de todos los sonidos en la aplicación.

Este mismo procedimiento se repite para cada uno de los instrumentos, considerando la cantidad de muestras disponibles para cada uno de ellos, por ejemplo, el violín posee ocho tomas en total, mientras que el contrabajo posee seis.

Programación de los sliders.

Los *sliders* son generados para el control de nivel y de posicionamiento panorámico, de esta manera el usuario puede variar los niveles en los que cada muestra va a reproducirse. El primer paso es convertir primero la imagen del *slider* en un símbolo con el punto de registro en el centro, una barra de cualquier dimensión con el punto de registro a su izquierda para que el punto extremo izquierdo de la barra sea el 0 y su punto extremo derecho sea el 100. Después, se transforma a estos dos elementos en un símbolo, un objeto destinado a recibir acciones, para que el programa los reconozca como un *slider.* Luego se da valores a la barra para que sus distintas posiciones provean diferentes resultados. Estos valores se los asigna a la función setVolume() para poder regular el nivel.

Para el *slider* de posicionamiento panorámico, la programación es muy similar, pero a la barra se le asigna valores de -100 a +100, siendo así-100 la señal a la izquierda y +100 la señal a la derecha, donde 0 sería su posición central.

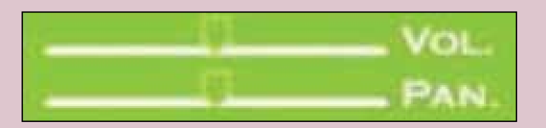


Figura 2. *Sliders de nivel y posicionamiento panorámico.*

Este procedimiento se lo repite para cada una de las muestras disponibles en la aplicación para que cada una sea controlada por los *sliders*.

Botones de mute y mono.

Para controlar que la función mute no se quede encendida mientras se maneja el nivel, se declara una variable en cada botón mute (mute = 0), de esta manera, si el *slider* se mueve este valor va a cambiar a 1 (mute = 1) y el nivel vuelve a activarse. Lo mismo pasa con el botón de mono con el *slider* de paneo de señal, con la excepción de que se debe poner una diferencia en el nivel de 3 dB, equivalentes a -3,12 de la escala determinada, en una escala de 0 a 100; para poder compensar las señales que se suman al oprimir este botón.

Adobe Flash tiene la ventaja de crear archivos ejecutables .exe y .app, los cuales funcionan en las plataformas Windows y Mac OSX respectivamente…

Exportación de archivos ejecutables.

Adobe Flash tiene la ventaja de crear archivos ejecutables *.exe* y *.app*, los cuales funcionan en las plataformas Windows y Mac OSX respectivamente, al momento de exportar el archivo se especifican las dimensiones de pantalla que se quiere para este, y si se necesita algún tipo de compresión, estas opciones son muy útiles si se va a utilizar el archivo en la red, pero en este caso se dejan todos los archivos intactos para evitar pérdidas en los archivos de audio.

Resultados

Como resultado de este proceso se obtiene la aplicación MICO, un juego de palabras entre las palabras "Microphone" y "Comparison", ésta es compatible con plataformas Mac o PC, ya que corre dentro de un explorador web.



Figura 3. *Isotipo de la aplicación.*

La aplicación posee una interfaz de usuario muy fácil de utilizar con diagramas explicativos de las tomas de muestras, selección de posicionamiento preestablecido y selección de micrófonos, botones de mute y mono, sliders de volumen y posicionamiento panorámico. Una sección con conceptos básicos sobre micrófonos, técnicas de microfonía y características acústicas de los instrumentos utilizados. La aplicación también cuenta con una galería fotográfica donde se describe el proceso de toma de muestras.



Figura 4. *Captura de pantalla del reproductor de muestras para el contrabajo.*

Conclusiones

Conclusión general.

- Luego del proceso investigativo, de diseño y programación, se puede concluir que una aplicación de comparación de técnicas de microfonía para conjuntos de instrumentos de cuerdas ayudará a mejorar el aprendizaje de los estudiantes de la facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias en la carrera de Ingeniería en Sonido y Acústica de la Universidad de Las Américas y para el público que desee tener acceso; debido a que el usuario puede comprobar muy clara y fácilmente las técnicas de captación empleadas por sus propios medios utilizando una interfaz de usuario didáctica, la misma que puede ser ejecutada tanto en la plataforma de Windows como en la de Mac.

Conclusiones específicas.

- El modelo y posicionamiento de los micrófonos al momento de la grabación es muy importante para la captación del sonido, de esta manera se realizó un análisis de las técnicas antes de utilizarlas con el fin de asegurar que el usuario pueda disponer de varias sonoridades de cada instrumento, siendo esta una

facilidad que permite al estudiante comparar y mezclar las muestras, llegando de esta manera a comprobar cómo cada micrófono tiene su propia sonoridad.

- Luego de la experiencia que se obtuvo al grabar los diferentes instrumentos de cuerda se puede determinar que un buen instrumento, junto a una buena interpretación musical son elementos necesarios para que la toma de muestras se la realice en un menor tiempo y las mismas sean de buena calidad para su posterior uso en la aplicación.

- Los pasos en una cadena electroacústica son necesarios para que la toma de muestras tenga el menor ruido o distorsión posible, para esto se debe considerar un micrófono en buen estado, cables adecuados, un preamplificador y un sistema de grabación, en este proyecto se realizó con un sistema digital, el cual permitió que las muestras tengan una mayor fidelidad.

- El perfil de usuario al que está destinado el programa es para estudiantes que están cursando la materia de técnicas de grabación, uno de los propósitos del mismo es permitir que el estudiante se sienta cómodo mientras navega las diferentes partes de la aplicación, por lo tanto se ha implementado de una interfaz amigable con el usuario diseñada exactamente para que él mismo sea tentado y llevado a utilizar toda la aplicación en su totalidad, sin que se sienta al programa como algo que produzca cansancio, o rechazo.

Referencias

Libros

[1] Miyara, Federico, Acústica y Sistemas de Sonido, Tercera Edición, Editora de la Universidad Nacional de Rosario, 2003, Pág.: 82-99, 163-173.

[2] Miles, David, Williams, Philip, Professional Microphone Techniques, Primera Edición, Editorial MixBooks, 1998, Pág.: 5-15, 23-28, 38-80, 97-105.

[3] Borwick, John, Micrófonos: Tecnología y Aplicaciones, Gipuzka, Escuela de Cine y Video, 1990.

[4] Pohlmann, Ken C., Principles of Digital Audio, Cuarta Edición, McGraw Hill, 2000, Pág.: 21-36.

[5] Nisbett, Alec, El Uso de los Micrófonos, Madrid, IORTV, 2002.

Artículos de Internet

[6] Laboratorio de Procesado de Imagen, Transductores Básicos, http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_02_03/micros_altavoces/microfonos_2.htm#CINTA, 2006, 06/10/2009.

[7] Laboratorio de Procesado de Imagen, Micrófonos, http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_04_05/io8/public_html/microfonos.htm, 2006, 06/10/2009.

[8] Terra Tecnologia, Muestreo y cuantización http://www.terra.es/tecnologia/articulo/html/tec3724.htm 2009, 15/10/2009.

[9] Programacion, ¿Qué es programar? http://www.iua.upf.es/~skourakis/programacion/QueEs-Programar.html, 2005, 6/01/2010.

[10] Wikipedia, Adobe Flash http://en.wikipedia.org/wiki/Adobe_Flash#Programming_language, 2009, 06/01/2010.

[11] Programacion en Castellano, introducción a Action Script, http://www.programacion.com/tutorial/actionscript/1/, 1999, 6/01/2010.

[12] Flash Cs4 Professional Action Script 2.0, Salto a fotogramas o escenas, http://help.adobe.com/es_ES/AS2LCR/Flash_10.0/help.html?cont

RUIDO INDUSTRIAL:
SU CONTROL

Juan C. Giménez de Paz
Argentina.
Rodrigo Osorio
rosorio@sonoflex.cl

ES UN HECHO ACEPTADO Y RECONOCIDO, QUE EL RUIDO ES UN SUBPRODUCTO INDESEADO DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL Y URBANA CARACTERÍSTICO DE NUESTROS TIEMPOS, AUNQUE EN MUCHAS OPORTUNIDADES QUEDE RELEGADO EN LOS JUSTOS RECLAMOS DE LOS ECOLOGISTAS. POSIBLEMENTE PUEDA DEBERSE A LO INTANGIBLE DEL RUIDO Y A SUS EFECTOS ACUMULATIVOS DE CONSECUENCIAS NO INMEDIATAS.

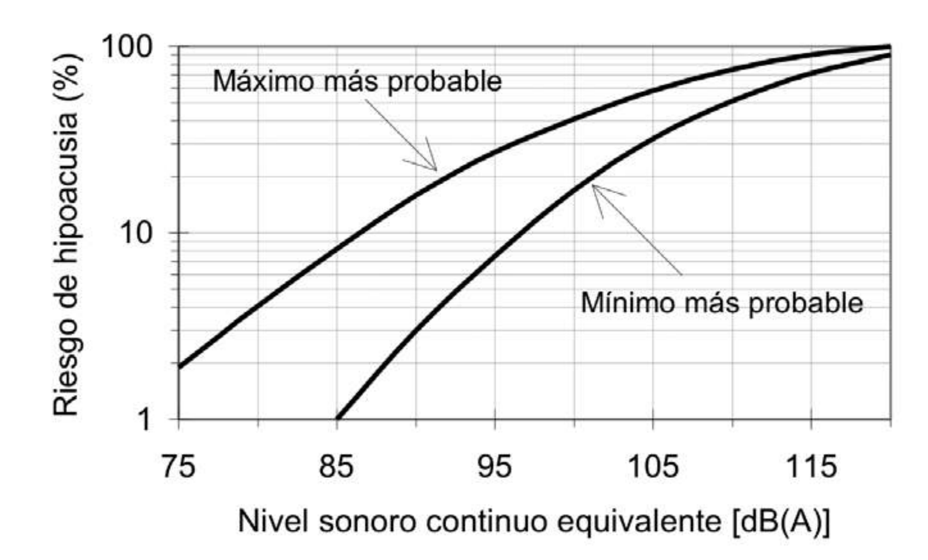


Figura 1. *Riesgo de perdida de audición por ruidos*

En efecto, a menos de situaciones muy especiales, los ruidos industriales afectan al sistema auditivo por dosis acumulativas de ruidos. Estas dosis se miden con el llamado "Nivel sonoro continuo equivalente (NSCE)" dado por un nivel ficticio constante durante el lapso de medición que encierra a la misma energía sonora que la evolución real del ruido en el mismo lapso.

En la Figura 1 se muestran los porcentajes de probabilidad de pérdida de la audición por efectos del ruido medido como NSCE a lo largo de varios años de exposición.

Estas curvas surgen de estudios estadísticos sobre una población numerosa y supone como hipótesis de trabajo que la persona se ha iniciado a los 20 años de edad en el ambiente de trabajo con un NSCE en jornadas laborales de 8 h. Las curvas superior e inferior indican los límites de los porcentajes más probables[1].

Para este gráfico se considera como pérdida de la audición a una disminución de más de 25 dB como promedio en las bandas de 500, 1 000 y 2 000 Hz según el criterio adoptado por nuestra normativa[2], es decir, con imposibilidad de mantener una conversación inteligible. No están incluidas entonces, las pérdidas menores que también dificultan la comunicación oral. Adviértase que niveles frecuentes en nuestra industria tienen valores elevados para el gráfico anterior.

Los efectos del ruido van más allá de los directos sobre la audición, afectando a la unidad psicofísica del

1. Norma ISO 1 999, "Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purpose".
2. Norma IRAM 4 079, "Niveles máximos admisibles de ruido en ámbitos laborales para evitar deterioro auditivo".

ser humano (molestia, cansancio, hasta vértigos, desmayos, etc.) como se ha hecho notar en numerosas publicaciones especializadas y congresos internacionales, que además disminuyen la capacidad de trabajo.

En nuestro país está contemplado el riesgo de los ruidos en el Decreto Nº 351/79 reglamentario de la Ley Nacional Nº 19 587 "Higiene y Seguridad en el Trabajo" publicado en el Boletín Oficial Nº 24 170 del 22 de mayo de 1979. En el punto 2 del Anexo V del mencionado Decreto se fija el valor máximo de NSCE en el ámbito laboral:

"Ningún trabajador podrá estar expuesto a una dosis superior a 90 dB(A) de Nivel Sonoro Continuo Equivalente, para una jornada de 8 horas y 48 semanales".

Basándose en el Principio de Igual Energía (adoptado por las legislaciones europeas) se fijan en forma tabulada los tiempos máximos de exposición cuando el NSCE es mayor de 90 dB(A) de manera de mantener la misma dosis o lo que es lo mismo, el mismo riesgo de daño. Es muy importante insistir que la legislación (y normas IRAM) se refieren siempre a valores de NSCE y no a valores instantáneos. La dosis adoptada implica aceptar un riesgo de daño que no es nulo según se muestra en la Figura 1.

NSCE en dB(A)	Tiempo (min)
90	480
93	240
96	120
99	60
102	30
105	15
108	7½
111	3¾

Tabla 1. *Tiempos máximos permitidos por jornada para valores de NSCE mayores que 90 dB(A)*

La tendencia internacional es reducir el máximo admisible a 85 dB(A) de dosis para una mayor protección del trabajador. En nuestra Ley de Higiene se toma este valor como crítico (en coincidencia con lo que la OIT reconoce como "nivel de alarma"), expresado en su artículo 92:

"Todo trabajador expuesto a una dosis superior a 85 dB(A) de nivel sonoro continuo equivalente deberá ser sometido a los exámenes audiométricos prescriptos en el Capítulo 3 de la presente reglamentación".

Además de los efectos interiores de las plantas industriales, también debe considerarse los efectos a su vecindario. En este caso son las municipalidades las que ejercen el poder de policía "puertas afuera". Algunos municipios dictan sus ordenanzas que limitan la emisión sonora, no muy felices en muchos casos.

De carácter más técnico es la norma IRAM 4 062[3] que no tiene carácter obligatorio a menos que se la incorpore a una disposición oficial. En este sentido, en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires adopta el carácter de obligatorio al haber sido explícitamente incorporada al Decreto 1 741, reglamentario de la Ley de la Provincia de Buenos Aires N° 11 459, mediante la Resolución 239/96 del 19 de septiembre de 1996.

Para evaluar molestia en viviendas, la norma considera el incremento del ruido cuando la planta industrial o los equipos sospechosos de molestia entran en funcionamiento, respecto del existente en su ausencia. Se considera molesto cuando la contribución de la industria es tanto como el del ruido de fondo (desde el punto de vista estadístico, subjetivamente se cumple cuando este incremento es de 8 dB(A)).

Lo dicho permite plantear los objetivos acústicos mínimos que deben cumplirse para no transgredir limitaciones explícitas dentro de una planta industrial y en su entorno. El otro extremo del problema acústico consiste en medir los niveles sonoros existentes. De las diferencias entre "existente" y "objetivo" surge la actividad específica del asesor acústico: diseño de los tratamientos acústicos que permitan pasar de la primera a la segunda condición.

3. Norma IRAM 4 062, "Método de medición y clasificación de ruido molesto al vecindario".

La ingeniería acústica tiene una batería de soluciones para problemas tan variados como grupos generadores, compresores, ventiladores, calderas y específicos según la industria que se trate. Los tratamientos se basan fundamentalmente en dos categorías: aislación sonora (minimización del paso de sonido de un lado al otro) y absorción sonora (minimización de las reflexiones del sonido). Ambos tratamientos complementarios no solo son diferentes, sino que los materiales que son aplicables para un caso no lo son para el otro.

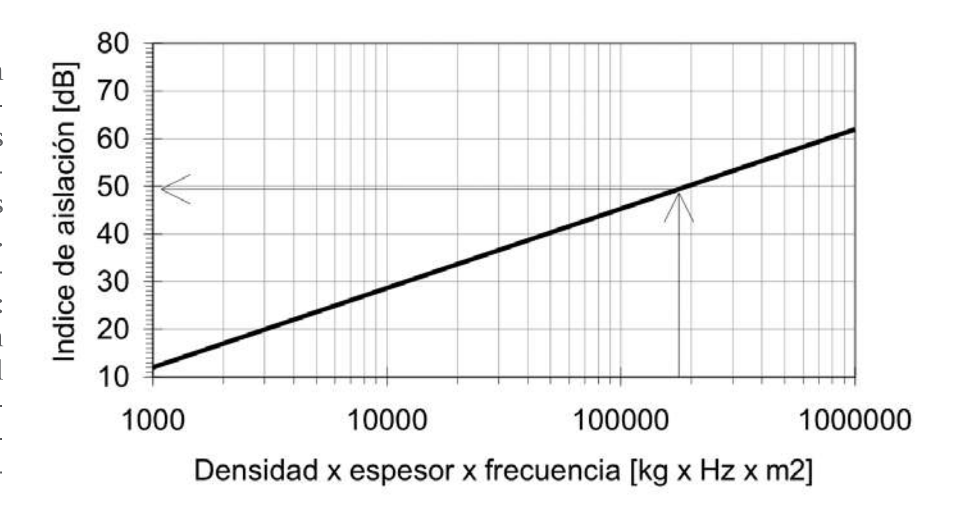


Figura 2. *Ley de masas y frecuencias*

Los materiales aislantes deben ser pesados e impermeables y los absorbentes, poroso y livianos.

La "regla de oro" para las aislaciones es la llamada Ley de masas que expresa que la atenuación de un divisorio aumenta con su densidad. Esta ley se combina con una similar llamada Ley de Frecuencias, aplicada a la frecuencia.

Ambas se combinan en una única ley que se representa en la curva de la figura 2. Su uso queda ilustrado en el siguiente ejemplo: Sea una partición de una densidad de volumen de 2 500 kg/m^3 y espesor de 7,5 cm (densidad superficial resultante m = 2 500 x 0,075 = 187 kg/m^2) y la banda de frecuencias de 1 000 Hz; La atenuación esperada para este valor es la que surge del gráfico cuando se lee en absisas el valor 187 000 (resultante de 187 kg/m^2 x 1 000 Hz): casi 50 dB.

Para la validez de estas leyes se supone que la partición es impermeable al paso del aire. Una pared de mampostería de ladrillos macizos revocada tiene una aislación como lo prevé la ley de masas, pero sin el revoque su aislación disminuye en forma muy apreciable. Lo mismo sucede cuando falta mezcla de asiento entre ladrillos (vicio común entre adyacentes porque no compromete la estabilidad de la pared), aunque posteriormente se la revoque.

Si se considera una determinada partición (densidad y espesor definidos), su eficiencia como aislante aumenta con la frecuencia, mientras que para una misma frecuencia, la aislación de las particiones aumenta por igual con la densidad del material como con su espesor. Ambos resultados son los previstos por la ley de frecuencias y de masas respectivamente.

Por el contrario, los materiales absorbentes deben permitir el paso de sonido (aire vibrando) a través, tal como las telas, cortinados, lanas de vidrio y mineral, espumas de uretano.

Dado lo diverso de los tratamientos que demanda la industria, consideraremos solo algún caso típico como por ejemplo las cabinas para fuentes ruidosas (por sobre los 95 dB(A)), como el caso de los sectores de prueba de vehículos en las plantas automotrices que contienen algunos elementos típicos.

Estas cabinas requieren divisorios caracterizados por índices de reducción acústica global dada por un índice Rw[4]≥ 30 dB, incluyendo a las superficies vidriadas aptas para inspección.

Estos divisorios deben estar están conformadas por:

4. Definido como "Indice de Aislación Acústica Compensado" de acuerdo con la definición de la norma IRAM 4 043.



Sea parte de un cambio positivo



MEDIO AMBIENTE:

Linea de equipos para mediciones ambientales contaminantes en fuentes fijas y móviles:

- Medidores de ruido
- Monitores de Calidad de Aire en exteriores.
- Monitores de Particulado ambiental.
- Medidores de gases en el ambiente.
- Muestreadores pasivos ambientales.
- Analizadores de gases de combustión.
- Equipos para muestreo isocinético en fuentes estacionarias en concordancia con US EPA.

SALUD OCUPACIONAL:

Incluye los instrumentos necesarios que permiten a un departamento medico evaluar al personal de planta con equipos avanzados:

- Audiometros
- Espirometros
- Impedanciometros
- Electrocardiografos
- Detectores de alcohol y drogas





HIGIENE INDUSTRIAL:

Linea de equipos para evaluación de riesgos laborales debidamente calibrados y certificados:

- Medidores de Ruido y Vibración.
- Monitores de Stress térmico.
- Monitores de Calidad de Aire en interiores.
- Medidores de Compuestos Orgánicos Volátiles
- COV´s y gases tóxicos.
- Monitores de Particulado.
- Muestreadores pasivos.
- Bombas muestreadoras
- Monitores de Radiaciones
- Luxómetros.

Informes:

Guayaquil: Cdla. La Garzota Av. G. Pareja Rolando Edificio D' Bronce, oficina 5.
Telefax: 2231875 - 2231899
P.O.Box:: 10331
Quito: Av. Gaspar de Villarroel E9-67 y Av. Los Shyris Edif. Fenix II P.B.
Telf: 2264116 - 2924142- Telefax: 2264116
e-mail: rrpp@caprotecsa.com
web: www.caprotecsa.com

• una placa de acero de espesor mayor que el calibre BWG #14;

• una capa de material aislante sonoro resiliente con densidad superficial del orden de los 5 kg/m² que aumente la aislación de la chapa y le quite reverberación (tipo barrier Fonac o Whispermat, o bien plomo de por lo menos 1 mm de espesor). Esto se debe a que la frecuencia de coincidencia f_c (para la que la atenuación disminuye dramáticamente respecto a lo previsto por la ley de masas) se presenta en el rango de frecuencias de importancia en la mayor parte de los casos, según la expresión:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi m}\sqrt{\frac{12\rho^3(1-\sigma^2)}{E}}$$

donde c es la velocidad del sonido, m la densidad superficial, ρ la densidad de volumen, E el módulo de elasticidad, σ el módulo de Poisson;

• una cámara intermedia con material fonoabsorbente de alto rendimiento (espumas poliéster Fonac, Sonex de Illbruck o lana de vidrio de por lo menos 35 kg/m²); y

• una chapa multiperforada como protección mecánica.

La incorporación de la chapa multiperforada sobre el material fonoabsorbente, no debe afectar su capacidad absorbente en el rango de las frecuencias de interés en más del 10%. Por ejemplo, esta condición se cumple para frecuencias altas con áreas abiertas del 20% o más.

Las ventanas deben ser de vidrios fijos con capacidad aislante del mismo orden que las componentes ciegas en las que estén ubicadas, para lo cual, normalmente debe recurrirse a los doble vidriados. Si bien de acuerdo con la ley de masas con vidrios simples de espesor suficiente se logran valores elevados de atenuación, la frecuencia de coincidencia se ubica en el rango de interés por lo que puede inhabilitar la ventaja anterior.

En el caso del doble vidriado, es esencial que la separación entre paños sea tal que permita lograr un valor global de atenuación. La expresión siguiente permite calcular el índice R_w para combinaciones de vidrios de 3 y 6 mm de espesor según el espesor d en mm.

$$R_w = 25 + 10\,\ell og\,(d)$$

Las puertas deberán ser de hojas de abrir con un esquema similar al de las componentes ciegas de los divisorios. El cierre deberá ser hermético con burletes perimetrales de neopreno que así lo aseguren.
Finalmente, si se requieren intercambiadores de aire con el exterior, deberá hacérselo mediante conductos con silenciadores resistivos de baffles paralelos que con una pérdida mínima de carga, atenúan el sonido de acuerdo con su diseño. Se trata de conductos partidos a lo largo por planchas fonoabsorbentes paralelas entre sí que definen canales para la circulación de aire. Las curvas de atenuación en función de la frecuencia tienen forma de campana en el entorno de una frecuencia característica de máximo rendimiento.
Los parámetros a tener en cuenta son: espesor del baffle y ancho del canal para seleccionar la frecuencia característica, y el largo para determinar el máximo de atenuación en dicha frecuencia.
Debe tenerse en cuenta que a mayor espesor del baffle y menor ancho del canal, tanto más eficiente es en las frecuencias bajas, mientras que por el contrario, a menor espesor del baffle y mayor ancho del canal, tanto más eficiente es a las frecuencias altas. Para las frecuencias bajas, puede estimarse la atenuación A por metro de silenciador mediante:

$$A \approx <\alpha>^{1/4} \frac{P}{S}$$

en la que α es el coeficiente de absorción sonora del material absorbente, P es el perímetro del canal tratado y S su sección.
Los materiales aptos, son las lanas de vidrio de densidad superior a los 20 kg/m3, aunque debe tenerse presente que sufren desprendimientos por arrastre del aire y debe en consecuencia protegérselas en forma adecuada (telas más chapa multiperforada) y las espumas de poliéster.

Tanto para una cabina, como para cualquier tratamiento acústico, el momento más adecuado para implementar es cuando se incorpore el equipo ruidoso o se plantee la planta industrial o su ampliación. Esto permite prever los problemas acústicos antes que solucionar lo que la imprevisión instale.



LA SEXTA FACHADA,

LA PERSPECTIVA ACÚSTICA DE UNA CIUDAD...

Christiam Garzón
Master en acústica arquitectónica y ambiental
c.garzon@udlanet.ec
Investigador UDLA

DESDE HACE ALGUNOS AÑOS SE HA VENIDO PERFECCIONANDO UNA TÉCNICA DE LA ARQUITECTURA, LA MISMA QUE DECORA Y DA VIDA A UNA DE LAS PARTES MÁS OLVIDADAS DE LA EDIFICACIÓN: EL TECHO. DESDE QUE EL HOMBRE DECIDIÓ PLANTEARSE OBJETIVOS DE CALIDAD DE VIDA, EL TECHO DE LAS EDIFICACIONES HA SERVIDO PARA PROTEGER LA CONSTRUCCIÓN DE LAS INCLEMENCIAS DEL TIEMPO. ES ASÍ QUE EN LOS ÚLTIMOS TIEMPOS, DONDE LA OBSERVACIÓN AÉREA DE LAS CIUDADES, SEA POR SISTEMAS DE TRANSPORTE O POR MEDIOS SATELITALES, HA TOMADO MUCHA IMPORTANCIA.

De este modo, la arquitectura moderna se ha planteado un nuevo reto, mejorar la vista aérea de las ciudades, dando así un factor añadido a las urbes. La quinta fachada, ahora tomada en cuenta como uno de los objetivos principales del diseño arquitectónico, es un parámetro indispensable para la mejora de la imagen de las ciudades.

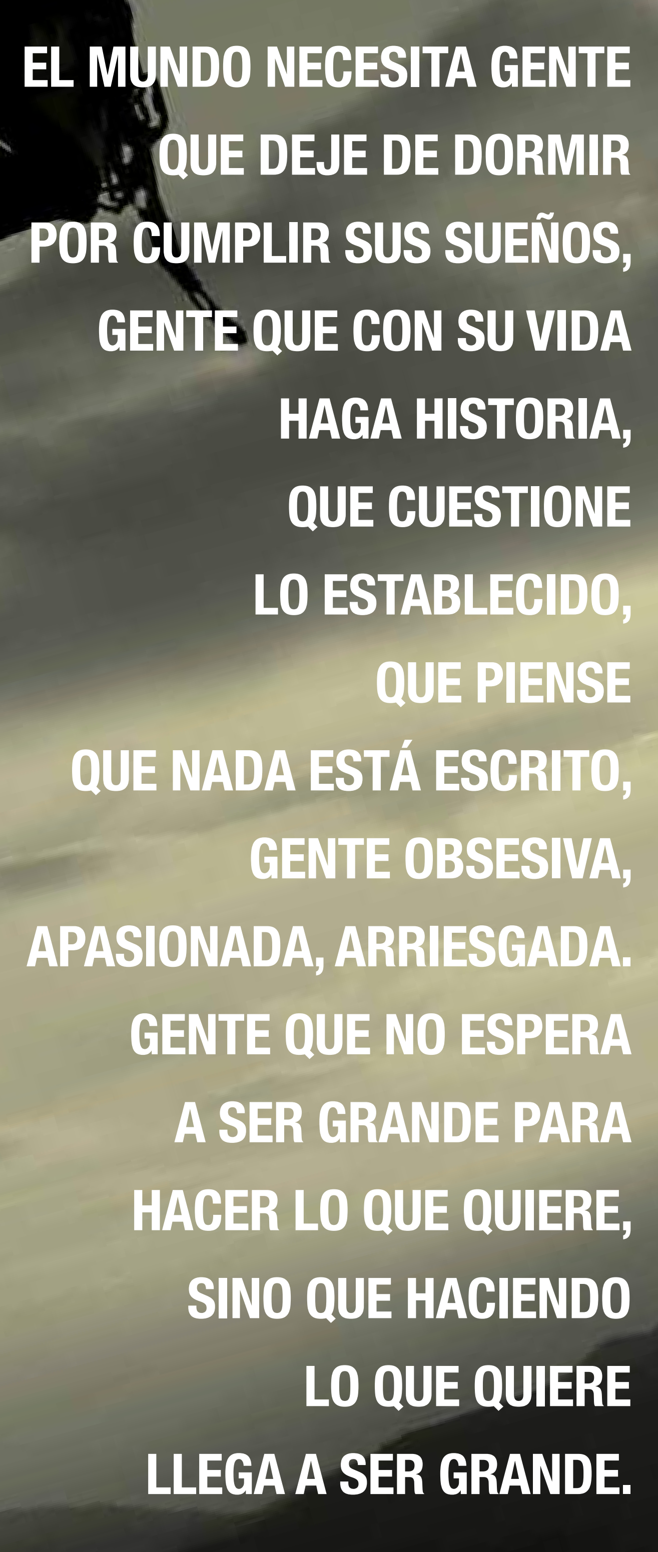
El ruido, contaminante invisible, está presente en todos los entornos en los que nos desenvolvemos diariamente. Según el Instituto del ruido de Londres, el ruido es provocado en especial por la actividad humana: tráfico rodado, las industrias y las actividades de ocio. Este al constituir un factor negativo en la carta de presentación de la urbe, se lo enmascara y/o justifica por intereses burdos mal fundados y muchas veces económicos.

Analizando mas de cerca la problemática y relacionándola con problemas sociales, se podría decir que el retraso económico y social de las ciudades tiene un agente característico que es el ruido. Factores como el estrés laboral, trastornos del sueño, pérdida de la atención, dificultad de comunicación, perdida del oído, entre otras, son factores permanentes de pérdidas económicas que cuantificadas presentan una gran perdida para la ciudad y el país.

El planteamiento de una sexta fachada, la misma que modele el ruido de las ciudades, es una propuesta innovadora en cuanto a arquitectura e ingeniería se refiere, mediante la cual se propone obtener un modelo de mapa de ruido anual de la ciudad, el mismo que invite a conocer sobre las virtudes de respeto de los ciudadanos en lo referente al ruido.

Esta propuesta puede constituirse en una alternativa innovadora para conocer sobre las bondades que puede ofrecer la localidad al visitante. Además el desarrollo y análisis de esta problemática podría hasta convertirse en un nuevo campo de especialización en áreas como la arquitectura y la ingeniería acústica; áreas que combinadas pueden ostentar nuevos modelos de presentación de ciudades, no solamente tangibles si no también audibles.

La fachada propuesta implica una gran campaña de concientización de los habitantes, colaboración de las autoridades e implementación de normativas adecuadas, las mismas que juntas establecerían una nueva perspectiva de la ciudad; una nueva ciudad que promueva la escucha, la escucha del confort auditivo.



www.udla.edu.ec



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES